

**TUGAS AKHIR
(KP 1701)**

**"ANALISA PERBANDINGAN LAJU KOROSI PADA
PENGELASAN DENGAN MENGGUNAKAN ELEKTRODA
YANG MENGANDUNG Mn (MANGANESE) DAN ELEKTRODA
YANG MENGANDUNG Cr (CHROMIUM) PADA PELAT
STAINLESS STEEL TANGKI KAPAL TANGKER"**

Rp 30.000



PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	10 - 8 - 2000
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	21.1739

RSPe
623.848
Sit
a-1
2000

Oleh :

TOGA R. SITOMPUL
NRP. 4195 100 064

**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2000**



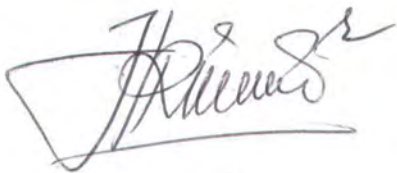
**"ANALISA PERBANDINGAN LAJU KOROSI PADA
PENGELASAN DENGAN MENGGUNAKAN ELEKTRODA
YANG MENGANDUNG Mn (MANGANESE) DAN ELEKTRODA
YANG MENGANDUNG Cr (CHROMIUM) PADA PELAT
STAINLESS STEEL TANGKI KAPAL TANGKER"**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

**Surabaya, Agustus 2000
Mengetahui / Menyetujui**

Dosen Pembimbing I



Ir. HERI SUPOMO, M.Sc.

Nip. 131 842 506

Dosen Pembimbing II



Ir. TRIWILASWANDIO W.P. MSc.

Nip. 131 652 050



ABSTRAK

Lingkungan yang mengandung asam klorida sangat umum pada pabrik kimia dan pabrik petrokimia, seperti untuk memproduksi gas, oil, pulp dan kertas, dan cairan pembersih porselin. Kebutuhan yang besar pada industri - industri tersebut membutuhkan alat transportasi berkapasitas besar, seperti kapal tanker pengangkut bahan kimia. Pada tangki - tangki kapal tanker tersebut, untuk mengatasi korosi digunakan pelat stainless steel.

Pelat stainless steel 316 L yang dilas dengan menggunakan elektroda yang mengandung Mn (manganese) dalam hal kekuatan dan ductility weld metal lebih baik performance-nya dari pengelasan dengan menggunakan elektroda yang mengandung Cr (chromium). Tetapi bagaimana kemampuan hasil las kedua jenis elektroda tersebut ketahanannya terhadap korosi perlu dianalisa lebih jauh. Dalam tugas akhir ini akan dilakukan analisa perbandingan laju korosi pada pengelasan stainless steel 316 L dengan menggunakan elektroda yang mengandung Mn (manganese) dan elektroda yang mengandung Cr (chromium) dalam media pengkorosif asam klorida.

Pengukuran laju korosi dilakukan dengan cara test polarisasi pada suhu ruang setelah dilakukan pengelasan SMAW menggunakan kedua jenis elektroda tersebut. Dan hasilnya menunjukkan laju korosi pengelasan dengan elektroda yang mengandung Mn (manganese) lebih tinggi dari elektroda yang mengandung Cr (chromium) yaitu 259,11 mpy(mils per year) untuk elektroda mangan dan 13,65 mpy untuk elektroda chromium. Sehingga pengelasan dengan elektroda yang mengandung Mn(manganese) tidak cocok dalam lingkungan asam klorida.

ABSTRACT

Environments containing chloride acid are very common in chemical and petrochemical plants such as gas, oil, ceramic tile cleaner, pulp and paper industry plant. The large needed for that industries, need transportation in big capacity, such as chemical carriers ships. Shell plate cargo tanks for chemical carriers used stainless steel.

The 316 L stainless steel plate joined using Mn (manganese) electrode in strength and ductility of weld metal is better than Cr (chromium). But in the corrosion resistance of weld metal for both electrodes have to be evaluated. In this final project, it will be analyzed the corrosion resistance of 316 L welded stainless steel plate using Mn (manganese) and Cr (chromium) electrodes in corrosive chloride acid solution.

The measurement of corrosion rate do with polarization test method at room temperature after SMAW welding using both electrodes. And the result, show that Mn (manganese) electrode corrosion rate is higher than Cr (chromium) that are 259,11 mpy(mils per year) for manganese electrode and 13,65 mpy for chromium in 10% concentration chloride acid solution. Therefore, welding used Mn (manganese) electrode not suitable in chloride acid environments.

KATA PENGANTAR

Berkat rahmat Tuhan Yang Maha Esa, laporan Tugas Akhir berjudul *“Analisa Perbandingan Laju Korosi Pada Pengelasan Dengan Menggunakan Elektroda Yang Mengandung Mn (Manganese) Dan Elektroda Yang Mengandung Cr (Chromium) Pada Pelat Stainless Steel Tangki Kapal Tangker “* telah dapat diselesaikan .

Penelitian Tugas Akhir ini merupakan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di ITS Surabaya. Adapun bobot Tugas Akhir ini menurut kurikulum mempunyai bobot 5 satuan kredit semester (sks).

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih belum sempurna. Oleh karena itu segala kritik dan saran dari semua pihak dengan senang hati akan penulis terima. Dan pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Heri Supomo, MSc selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir dan Dosen Wali.
2. Bapak Ir. Triwilaswandio Wuruk Pribadi, MSc selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
3. Bapak Ir. Djauhar Manfaat, MSc, Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan.
4. Bapak Ir. IK. Ariya Pria Utama, Meng, Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Perkapalan.
5. Bapak DR, Drs Zainal Arifin selaku Kepala Laboratorium Fisika Zat Padat dan Pak Ratno sebagai karyawan laboratorium.
6. Kedua orang tua, kakak Pitta dan Jenni, abang Aron dan adik – adikku Chrisman, Samuel dan Surya yang telah memberikan semangat dan dorongan dalam menyelesaikan studi.
7. Teman – teman angkatan '95 (P35) seperti Hotpungka, Saut, Nahason, Puja, Mohan, Nur Hari, Burhani, Atik, Ign Yuli, Tirta, dan Icha'94, Gondo'94, Johannes'94 juga teman lainnya yang tidak disebutkan satu persatu.

8. Teman – teman satu kost Keputih 69 seperti Gunawan (T.Kimia'96) for the computer, Taufik (T.Arch'94) for printer, Ari (LJ Naval'98), Paulus (Naval'94), Budi (T.Kimia'93), Bandi (T.Kimia'93), Risang (T.Mesin) for their support and for other friends.
9. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini dan tidak dapat disebut satu persatu.

Akhirnya penulis berharap semoga tulisan penelitian Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua, Amin.

Surabaya, Agustus 2000

Penulis



DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan	
Abstrak	i
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	v
Daftar Gambar	vii
Daftar Tabel	ix
Daftar Notasi	x
BAB I. PENDAHULUAN	
I . 1 LATAR BELAKANG	1
I . 2 PERUMUSAN MASALAH	2
I . 3 TUJUAN PENELITIAN	3
I . 4 MANFAAT PENELITIAN	3
I . 5 BATASAN MASALAH	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
II . 1 KONSEP DASAR KOROSI	5
II . 2 DEFENISI KOROSI	6
II . 3 DASAR TERJADINYA KOROSI	7
II . 4 CACAT LOGAM	11
II . 5 JENIS – JENIS KOROSI	14
II . 6 LOGAM STAINLESS STEEL	20
II.6.1 Pengertian Umum Stainless Steel	20
II.6.2 Klasifikasi Stainless Steel	22
II.6.3 Austenitic Stainless Steel	24
II.6.3.1 Modifikasi, Komposisi Dan Struktur	24
II.6.3.2 Ketahanan Korosi	27
II.6.4 Pengelasan Baja Austenitic Stainless Steel	28
II . 7 AUSTENITIC MANGANESE STEEL	32
II.7.1 Pengertian Umum Austenitic Manganese Steel	32

II.7.2 Sifat – Sifat Austenitic Manganese Steel	33
II.7.2.1 Sifat – Sifat Fisik	33
II.7.2.2 Sifat – Sifat Mekanis	35
II.7.2.3 Sifat – Sifat Work Hardening	35
II.7.3 Komposisi Kimia Austenitic Manganese Steel	36
II . 8 KOROSI PADA PENGELASAN	40
II . 9 POLARISASI	44
BAB III . METODOLOGI PENELITIAN	
III . 1 VARIABEL PERCOBAAN	49
III . 2 BAHAN PERCOBAAN	50
III . 3 PERALATAN PERCOBAAN	50
III . 4 PROSEDUR PENELITIAN	51
BAB IV . ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
IV . 1 PERHITUNGAN LAJU KOROSI	58
IV . 2 ANALISA VARIABEL ELEKTRODA PENGELASAN	60
IV . 3 ANALISA PENGARUH KONSENTRASI	65
IV . 4 ANALISA PENGARUH LUASAN SPESIMEN	67
BAB V . KESIMPULAN DAN SARAN	
V . 1 KESIMPULAN	69
V . 2 SARAN	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gbr II . 1 Pengaruh kandungan chromium terhadap ketahanan korosi	21
Gbr II . 2 Pengaruh kandungan chromium terhadap transformasi phase baja tahan karat	24
Gbr II . 3 Siklus panas pada daerah di sekitar pengelasan dan terjadinya korosi intergranular	30
Gbr II . 4 Pengaruh work hardening terhadap kekerasan austenitic manganese steel	36
Gbr II . 5 Cacat – cacat pada pengelasan	42
Gbr II . 6 Kemungkinan tempat terjadinya celah (crevice) pada pengelasan	43
Gbr II . 7 Pengeplotan Tafel teoritis	47
Gbr II . 8 Pengeplotan Tafel praktis yang diidealkan	48
Gbr III . 1 Sel tiga elektroda	51
Gbr III . 2 Penampang melintang pelat stainless steel untuk proses pengelasan	52
Gbr IV . 1 Perbandingan laju korosi pada pengelasan elektroda kandungan mangan dan chromium	61
Gbr IV . 2 Korosi sumuran pada pengelasan dengan elektroda kandungan chromium tinggi	64
Gbr IV . 3 Korosi seragam pada pengelasan dengan elektroda kandungan mangan tinggi	64
Gbr IV . 4 Laju korosi pada pengelasan dengan elektroda yang mengandung manganese dan chromium dengan konsentarsi larutan HCl yang berbeda pada suhu 29 ⁰ C	66

Gbr IV . 5	Laju korosi pada pengelasan dengan elektroda yang mengandung manganese dan chromium dengan luasan spesimen yang berbeda pada suhu 29 ⁰ C	67
Gbr IV . 6	Perbandingan laju korosi antara peningkatan konsentrasi larutan HCl dengan peningkatan luasan spesimen	68

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel II . 1 Galvanic series dari beberapa logam dan paduan logam di air laut	16
Tabel II . 2 Komposisi kimia dari stainless steel	26
Tabel II . 3 Koefisien ekspansi dan konduktivitas panas austenitic manganese steel dan plain carbon steel	34
Tabel II . 4 Sifat – sifat fisik austenitic manganese steel	34
Tabel III . 1 Parameter pengelasan	52
Tabel IV . 1 Hasil perhitungan laju korosi dari percobaan	59
Tabel IV . 2 Laju korosi relatif dengan konversi pada satuan matrik	62
Tabel IV . 3 Laju korosi pengelasan dengan elektroda kandungan mangan tinggi	62

DAFTAR NOTASI

a	:	berat atom
A	:	Ampere
D	:	density logam
E_{kor}	:	potensial baku
HAZ	:	heat affected zone
i_a	:	laju reaksi anoda
i_c	:	laju reaksi katoda
i_o	:	exchange current density, yaitu arus dalam keadaan kesetimbangan dinyatakan sebagai kerapatan arus
i_{kor}	:	kerapatan arus korosi
K	:	konstanta laju korosi Faraday
mA	:	mili Ampere
$mmpy$:	mili meter per year
mpy	:	mils per year
mV	:	mili Volt
n	:	jumlah elektron yang bereaksi (valensi)
V	:	Voltage
β_a	:	konstanta anoda Tafel
β_c	:	konstanta katoda Tafel
η	:	selisih potensial korosi elektroda logam dengan potensial korosi bebas
v	:	laju korosi

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 LATAR BELAKANG

Dengan semakin meningkatnya industri hilir akibat upaya pemerintah untuk menggalakkan industri nasional dan memperluas lapangan kerja, maka kebutuhan – kebutuhan akan bahan baku untuk keperluan industri tersebut semakin meningkat juga. Ciri – ciri umum dari suatu industri hilir adalah output yang relatif besar, padat karya, investasi ringan, teknologi sederhana, dan cocok untuk situasi dan kondisi Indonesia. Sehingga diperlukan alat transportasi yang murah, efisien, dan dapat mengangkut muatan berkapasitas cukup besar.

Mengingat Indonesia merupakan negara yang berbentuk kepulauan, dimana antar pulau dihubungkan oleh laut maka pengangkutan dengan kapal merupakan pilihan yang utama. Terutama untuk industri hilir yang membutuhkan bahan – bahan kimia sebagai bahan bakunya diperlukan kapal tanker pengangkut bahan kimia. Seperti asam klorida yang sangat umum pada pabrik kimia dan pabrik petrokimia, seperti untuk memproduksi gas, oil, pulp dan kertas, dan cairan pembersih porselin.

Teknologi dibidang perkapalan ini terus dikembangkan seiring dengan tuntutan yang terus berjalan. Yaitu besarnya tuntutan akan kekuatan dan ketahanan sebuah kapal demikian juga keselamatan dari penumpang maupun barang yang diangkut. Masalah yang sering timbul yaitu terjadinya korosi pada konstruksi kapal sebagai akibat proses alamiah antara material dengan lingkungannya yang mengakibatkan kerusakan/turunnya mutu material tersebut

selain juga mengurangi performance kapal. Dan untuk kapal tanker pengangkut bahan kimia menggunakan pelat stainless steel pada tangki – tangkinya untuk mengatasi korosi.

Dari aspek keuangan, kerugian akibat korosi dibidang perkapalan adalah kerugian selama pekerjaan terhenti akibat perbaikan. Tingginya biaya perawatan, biaya ganti rugi kepada konsumen atas kerusakan akibat korosi, dan kerugian di sektor penjualan akibat hilangnya kepercayaan konsumen. Turunnya mutu produk akibat kontaminasi dari korosi terhadap bahan-bahan yang digunakan dalam proses produksi. Tingginya biaya bahan bakar dan energi akibat kebocoran uap, bahan bakar, air atau udara mampat dari pipa-pipa yang terkena korosi. Adanya tambahan modal kerja karena peningkatan biaya pekerjaan dan besarnya persediaan suku cadang.

Pelat stainless steel sejak dahulu dipercaya mempunyai ketahanannya terhadap korosi. Tetapi untuk keperluan mendesign konstruksi tangki kapal tanker tersebut yang menggunakan pelat stainless steel , diperlukan elektroda las yang tepat. Sehingga weld metal yang dihasilkan memiliki kekuatan dan ketahanan terhadap korosi yang sesuai. Dan dapat mengantisipasi terjadinya pencemaran bahan baku pada tangki dan bocornya tangki akibat tidak kedapnya hasil las yang mengalami korosi.

I.2 PERUMUSAN MASALAH

Pelat stainless steel yang dilas dengan menggunakan elektroda yang mengandung Mn (Manganese) dalam hal kekuatan dan ductility weld metal lebih baik performance-nya dari pengelasan dengan menggunakan elektroda yang

mengandung Cr (Chromium). Tetapi kemampuan hasil las kedua jenis elektroda tersebut ketahanannya terhadap korosi, perlu dilakukan analisa terhadap ketahanan korosi pada pengelasan stainless steel dengan menggunakan elektroda yang mengandung Mn (Manganese) dan elektroda yang mengandung Cr (Chromium) dalam media pengkorosif asam klorida.

I.3 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan menganalisa perbandingan laju korosi pengelasan dengan menggunakan elektroda yang mengandung mangan dan elektroda yang mengandung chromium pada pelat stainless steel dalam media pengkorosif asam klorida. Dan untuk mengetahui pengaruh luasan dan konsentrasi larutan terhadap laju korosi pada hasil las dengan menggunakan elektroda yang mengandung Mn (Manganese) dan elektroda yang mengandung Cr (Chromium).

I.4 MANFAAT PENELITIAN

Diharapkan dengan adanya penelitian laju korosi ini, dari data dan hasil penelitian dapat digunakan sebagai berikut :

- Dari kedua elektroda yaitu elektroda yang mengandung Mn (Manganese) dan elektroda yang mengandung Cr (Chromium), yang mana yang terbaik ketahanan korosinya untuk digunakan pada pengelasan stainless steel dalam lingkungan yang korosif.
- Dengan peningkatan konsentrasi larutan dan peningkatan luasan spesimen yang mana yang terbesar pengaruhnya terhadap laju korosi.
- Memperkirakan lamanya beroperasi dari konstruksi tangki pada kapal tangker yang akan dibangun.

I.5 BATASAN MASALAH

Untuk membatasi permasalahan agar mendapatkan hasil yang sesuai dengan tujuan penulisan, maka diberikan batasan permasalahan pada penulisan, yaitu :

1. Material pelat yang digunakan adalah pelat **stainless steel - E 316L** dengan ukuran tebal 8 mm.
2. Elektroda yang digunakan adalah **AWS A5.13-73 : E Fe Mn-A (OK Selectrode 86.28)** untuk elektroda yang mengandung Mn (Manganese) dan **DIN 855 : E6 – 55 (OK Selectrode 84.58)** untuk elektroda yang mengandung Cr (Chromium).
3. Percobaan dilakukan pada suhu kamar (29⁰ C).
4. Hasil pengelasan hanya dilakukan pemeriksaan secara visual.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 KONSEP DASAR KOROSI

Ketika suatu logam atau paduan logam yang dipilih untuk penggunaan tertentu, sebagian besar berdasarkan pada mechanical properties- nya. Sedangkan fakta menunjukkan bahwa hanya sedikit efek dari interaksi logam tersebut dengan lingkungannya dapat diatasi, walau pentingnya interaksi ini akan memiliki arti yang berbeda – beda, tergantung pada kondisinya. Sebagai contoh korosi yang seragam pada baja untuk rel kereta api tidak begitu penting bila dibandingkan dengan terjadinya lubang – lubang kecil yang cepat pada pipa baja yang ditanam.

Efek dari interaksi logam dengan lingkungannya dapat lebih penting dari kerusakan logam yang terjadi. Sebagai contoh, pipa timbal tidak dapat digunakan untuk membawa cairan yang dapat melarutkan timbal, karena pada level timbal 0,1 ppm akan menjadi racun. Pada proses kimia, kebanyakan dalam pemilihan logam tertentu berdasarkan upaya untuk menghindari kontaminasi pada lingkungan akibat karat yang dapat mempengaruhi warna atau rasa suatu produk atau katalis, berdasarkan reaksi yang terjadi. Untuk tembaga dan paduan logam tembaga tidak dapat digunakan pada pabrik sabun, sebab ion – ion tembaga menyebabkan perubahan warna dan aroma anyir pada sabun. Untuk keadaan ini, penting sekali menggunakan logam yang tidak reaktif dan relatif logam mahal, walaupun lingkungan tidak akan menyebabkan kerusakan yang cepat pada logam yang lebih murah seperti mild steel.

Kemungkinan yang lebih jauh bahwa kontaminasi pada lingkungan oleh ion logam akibat korosi dapat menyebabkan meningkatnya korosi logam lain ketika logam berada pada lingkungan yang sama. Makanya korosi lambat yang seragam pada tembaga oleh cairan pelarut yang ada bukan merupakan korosi yang terutama pada pipa tembaga, tetapi menghasilkan korosi pitting yang cepat dan lubang – lubang kecil pada baja galvanis.

II. 2 DEFINISI KOROSI

Korosi diartikan sebagai karat yaitu suatu yang hampir dianggap musuh masyarakat. Karat (rust) tentu saja sebutan yangn belakang ini hanya dikhususkan bagi korosi pada besi, sedangkan korosi adalah gejala destruktif yang mempengaruhi semua logam, walaupun besi bukan logam pertama yang dimanfaatkan oleh manusia.

Korosi berasal dari bahasa latin “ *Corrote*” yang artinya karat. Sedangkan untuk lebih memahami pengertian korosi, dibawah ini disajikan beberapa definisi korosi :

1. Korosi adalah serangan yang bersifat merusak pada suatu logam oleh reaksi kimia atau elektrokimia dengan lingkungannya. Istilah karat digunakan untuk korosi besi atau campuran besi (ferrous alloy) dengan pembentukan produksi korosi berupa oksida besi ^[2]
2. Korosi adalah penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungan. Istilah karat (rust) adalah sebutan yang hanya digunakan khusus pada korosi besi. ^[3]

3. Korosi adalah penurunan mutu atau kerusakan bahan karena berinteraksi dengan lingkungannya. Istilah karat hanya digunakan untuk korosi besi dan baja. ^[4]

Dari ketiga definisi di atas, maka dapat disimpulkan bahwa korosi adalah reaksi kimia atau elektrokimia antara logam dengan lingkungannya yang dapat mengakibatkan penurunan sifat / mutu logam.

II. 3 DASAR TERJADINYA KOROSI

Berdasarkan mekanisme proses terjadinya, korosi dapat dibedakan atas :

1. Korosi Sebagai Reaksi Kimia

Korosi secara kimia adalah korosi yang terjadi dengan reaksi kimia murni. Pada proses ini terjadinya korosi tanpa ikut sertanya elektron. Reaksinya dapat digambarkan pada reaksi besi yang dicelup ke dalam asam klorida (HCl), dengan reaksi :



2. Korosi Sebagai Reaksi Elektrokimia

Reaksi elektrokimia dapat digunakan untuk menerangkan mekanisme terjadinya korosi. Reaksi elektrokimia dapat digambarkan pada reaksi besi yang dicelupkan dalam asam klorida (HCl). Pada proses besi dalam HCl, reaksinya berlangsung dengan cepat, gas hidrogen dilepas dan besi akan larut membentuk FeCl_2 , dengan reaksi :



Dengan memperhatikan bahwa ion Cl^- tidak terlibat dalam reaksi, maka persamaan tersebut dapat disederhanakan menjadi :



Pada persamaan diatas besi bereaksi dengan ion hidrogen dalam larutan asam membentuk ion Fe^{2+} dan gas hidrogen. Dapat dimengerti bahwa selama reaksi, Fe teroksidasi menjadi ion Fe^{2+} dan ion hidrogen tereduksi menjadi H_2 .

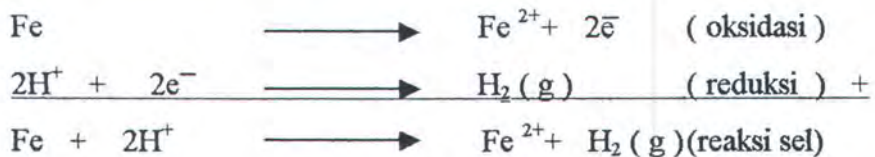
Reaksi oksidasi besi bersifat anodik (anoda)



Sedangkan reduksi ion hidrogen bersifat katodik (katoda)



Reaksi oksidasi atau reaksi anodik ditandai dengan kenaikan valensi atau produksi elektron dari 0 menjadi 2, sedangkan ion hidrogen akan direduksi menjadi gas hidrogen. Penulisan reaksi yang lengkap dapat dijelaskan dengan menggunakan persamaan reaksi oksidasi dan reduksi seperti dibawah ini:



Kedua reaksi tersebut melibatkan muatan listrik pada daerah anodik dan katodik. Reaksi ini dapat berlangsung bila elektron mengalir dari anodik ke katodik melalui suatu elektrolit, dan aliran elektron hanya dapat terjadi bila ada perbedaan tegangan antara anodik dan katodik. Ini berarti bahwa suatu logam akan terkorosi bila pada permukaan logam terdapat daerah yang bersifat anodik dan katodik.

Reaksi anodik pada peristiwa korosi secara umum digambarkan sebagai :



Sedangkan untuk reaksi katodik yang mungkin selama proses korosi logam adalah:

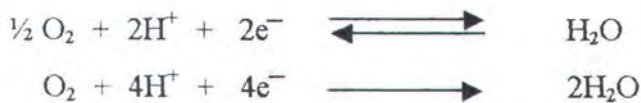
1. Evolusi Hidrogen :



2. Reduksi Air :



3. Reduksi Oksigen (lingkungan asam) :



4. Reduksi Oksigen (lingkungan netral atau basa) :



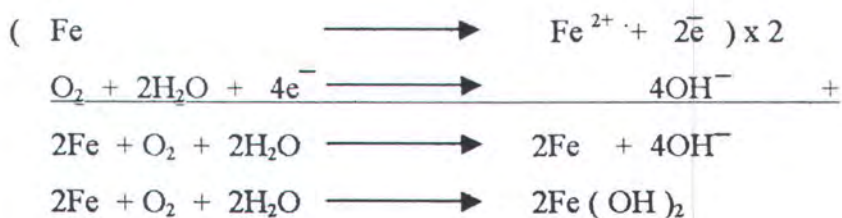
5. Reduksi Ion Logam :



6. Pengendapan Logam :



Bila permukaan Fe kontak dengan air maka akan terjadi reaksi anodik sebagai berikut :



dan produk akhir yaitu $2\text{Fe}(\text{OH})_2$ yang diperoleh adalah karat. Jadi selama logam terkorosi, laju oksidasi sama dengan laju reduksi.

Terjadinya proses korosi ditentukan banyak faktor, diantaranya adalah :

1. Keadaan bahan konstruksi (logamnya)

Keheterogenan pada logam dapat diklasifikasikan pada atomik, mikroskopik dan makroskopik. Hal itu terjadi akibat perbedaan perlakuan yang diberikan pada logam yang merupakan aspek terjadinya korosi. Dan juga untuk logam campuran dapat menyebabkan semakin mudah terjadi korosi daripada logam murni.

2. Lingkungan

Lingkungan merupakan salah satu media pengkorosi yang baik, misalnya lingkungan asam, basa, atau berair (lembab) yang akan mempercepat terjadinya korosi.

3. Konsentrasi Larutan Korosi

Suatu material pada larutan korosi yang pada awalnya menunjukkan sifat pasif sehingga korosi yang terjadi dapat diabaikan, dapat dipengaruhi oleh perubahan yang besar pada konsentrasi larutan pengkorosif. Sebagaimana konsentrasi larutan pengkorosif ditingkatkan, kecepatan korosi meningkat. Hal ini akibat ion hidrogen (ion aktif) yang meningkat jumlahnya seiring dengan meningkatnya konsentrasi asam. Bagaimanapun peningkatan konsentrasi asam lebih jauh, kecepatan korosi akan mencapai maksimum dan kemudian menurun, akibat konsentrasi asam yang sangat tinggi maka ionisasi akan berkurang (larutan jenuh) pada temperatur normal.



4. Temperatur

Perbedaan temperatur sangat mempengaruhi besar laju korosi, karena semakin besar temperatur semakin mempercepat laju korosi. Temperatur juga merupakan faktor sekunder, dengan mempengaruhi kelarutan oksigen yang merupakan oksidator yang paling mempengaruhi korosi.

II. 4 CACAT LOGAM

Kita mempunyai kecenderungan untuk mengandaikan bahwa ketika logam membeku mempunyai struktur kisi kristal yang sangat tertata, tetapi dalam proses pembuatan sebuah logam jarang mempunyai komposisi atau struktur yang betul – betul seragam, baik ditinjau secara makroskopik maupun mikroskopik. Sehingga logam mengalami cacat yang dapat dijumpai dalam struktur logam. Cacat adalah bentuk penyimpangan dari kisi – kisi kristal sempurna dan adanya cacat bisa menguntungkan dan bisa merugikan terhadap rekayasa logam. Sebagai contoh gerak dislokasi mendatangkan sifat mulur yang bermanfaat namun di pihak lain cacat volume seperti retak misalnya, menyebabkan logam patah ketika mengalami tegangan yang lebih rendah dari semestinya.

Banyak macam cacat yang diakibatkan atau dipengaruhi oleh perlakuan mekanik yang diterima selama pengerjaan dan pabrikasi. Sifat dapat ditempah yang dimiliki oleh logam mengandung arti bahwa proses tersebut dapat mengakibatkan perubahan bentuk yang tidak tanggung – tanggung pada butir – butir kristal, seperti retak atau patah pada bagian kisi yang semula sempurna. Juga cacat – cacat logam sebagai akibat perlakuan termal proses pengelasan pada daerah sekitar panas (HAZ) dan semua proses pemanasan dan pendinginan yang ada pada proses pabrikasi.

Macam – macam cacat logam yang dapat terjadi antara lain :

1. Cacat Titik

Cacat ini lebih dikenal sebagai cacat atom tunggal dan peranannya dalam proses teori paduan untuk menyempurnakan sifat – sifat mekanik logam. Cacat – cacat ini juga mempunyai peranan penting dalam mekanisme korosi dan cacat ini dibagi menjadi tiga :

a. Cacat Kekosongan (Vacancy)

Yaitu hilangnya sebuah atom pada kedudukannya pada kisi.

b. Cacat Substitusi (Substitution Defect)

Yaitu adanya atom asing yang menempati suatu kedudukan pada kisi yang semestinya diisi oleh atom tuan rumah.

c. Cacat Intertisi (Interstitial Defect)

Yaitu atom tidak menempati kedudukan yang normal sehingga atom yang lain terdesak.

2. Cacat Garis

Cacat ini terjadi di dalam struktur butir ketika bidang – bidang atom tidak menempati kedudukan sempurna pada kisi. Cacat ini dibagi menjadi dua :

a. Dislokasi Tepi (Edge Dislocation)

Yaitu adanya sebuah bidang atom tidak sempurna diantara dua bidang lainnya

b. Dislokasi Ulir (Screw Dislocation)

Yaitu adanya bidang yang menyerong sedikit sehingga tidak searah lagi dengan bidang – bidang terdekat.

3. Cacat Volume

Cacat yang mempengaruhi logam pada skala makroskopik. Dan volume logam tidak bersesuaian dengan struktur keseluruhan bahan sejenis yang terbentuk sempurna. Cacat ini dibagi menjadi tiga :

a. Renik (Voids)

Cacat ini berupa rongga – rongga kecil dalam bahan. Yang mungkin disebabkan terjebaknya udara, pelepasan gas selama proses penuangan logam atau butir – butir embun yang menguap begitu bersentuhan dengan logam cair, dan akibat pengerutan antar dendritik selama pembekuan.

b. Retak (Crack)

Yaitu akibat tidak meratanya pendinginan atau timbulnya tegangan – tegangan di dalam cetakan, retak juga terjadi akibat penempaan pada daerah dekat dengan las – lasan akibat pengaruh distribusi termal yang tidak merata.

c. Inklusi

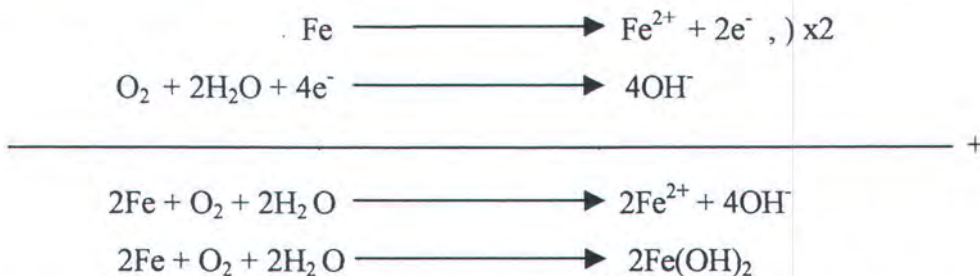
Yaitu terjebaknya partikel – partikel asing di dalam padatan logam yang bukan bagian dari struktur kristal logam itu sendiri.

II. 5 JENIS – JENIS KOROSI

Efek korosi yang terjadi pada logam bervariasi, tergantung pada kondisi alam dan lingkungan yang berlaku. Dan klasifikasi dari jenis – jenis bentuk korosi secara garis besar dapat dibedakan yaitu :

a. Korosi Homogen (Uniform Attack).

Karat terjadi secara homogen ke seluruh bagian material yang terbuka atau telanjang dimana jenis korosi yang paling sering dan umum terjadi. Biasanya mudah untuk diperkirakan dan diukur. Berkurangnya ketebalan logam merupakan fungsi dari waktu. Misalnya proses korosi yang terjadi pada logam besi yang tercelup pada air. Logam besi akan teroksidasi membentuk ion Fe^{2+} dan air akan tereduksi menjadi ion H^+ dan OH^- , dengan reaksi sebagai berikut :



Proses korosi logam besi dalam air akan menghasilkan karat besi $2\text{Fe}(\text{OH})_2$ yang berwarna coklat dan menyebabkan menipisnya permukaan logam besi. Menipisnya permukaan logam akan mengurangi berat logam.

b. Korosi Logam Tak Sejenis (Galvanik).

Korosi logam tak sejenis terjadi karena adanya perbedaan potensial antara logam satu dengan logam lainnya bila dua logam digabungkan pada suatu elektrolit. Proses terjadinya korosi diawali dengan aliran elektron diantara dua

logam yang diikuti dengan aliran listrik diantara dua logam. Logam yang mempunyai potensial rendah atau tahanan korosi rendah akan terkikis dan yang tahanan korosinya lebih tinggi atau potensialnya tinggi, akan mengalami penurunan daya korosinya. Logam yang mempunyai tahanan korosinya kecil disebut anodik dan akan menjadi logam aktif, sedangkan untuk logam yang tahanan korosinya lebih tinggi dan disebut katodik akan menjadi logam pasif. Semakin besar perbedaan potensial antara dua buah logam dalam larutan elektrolit akan semakin cepat pula aliran listrik atau aliran elektron yang terjadi dan korosi akan semakin cepat pula menjalar. Ada beberapa faktor yang berpengaruh dalam penyebaran korosi logam tak sejenis galvanis ini antara lain energi potensial dari logam (EMF), luas antara logam aktif atau anode dengan logam pasif atau katode dan jarak dua logam. Menurut Tabel II.1 seri galvanis terlihat bahwa semakin dekat suatu logam pada magnesium, logam tersebut semakin kecil potensialnya sehingga akan lebih bersifat anodik dan aktif untuk bereaksi, sedangkan untuk logam yang mendekati platina potensialnya bertambah besar serta akan bersifat lebih katodik. Prinsip terjadinya korosi galvanis inilah yang dijadikan dasar sistem kerja pencegahan korosi sistem anoda tumbal yaitu dengan mengorbankan anode (yang didalam kapal biasanya disebut zinc anode). Dan dari pernyataan yang ada kita dapat mengatakan bahwa efek penggandengan dua logam tak sejenis :

- Deret galvanik menyatakan bahwa logam lebih aktif akan menjadi anoda apabila gandengan itu, membentuk sebuah korosi basah, sementara logam yang lebih mulia akan menjadi katoda.

- Laju korosi logam lebih aktif mengalami percepatan, sementara laju korosi logam lebih mulia terhambat. Perlu diperhatikan bahwa katoda mungkin lebih masih terkorosi, tergantung besar polarisasi katodik yang diinduksikan.

Platinum
Gold
Graphite
Titanium
Silver
[Chlorimet 3 (62 Ni, 18 Cr, 18 Mo)
[Hastelloy C (62 Ni, 17 Cr, 15 Mo)
[18-8 Mo Stainless Steel (passive)
[18-8 Stainless Steel (passive)
[Chromium Stainless Steel 11 –13% Cr (passive)
[Inconel (passive) (80 Ni, 13 Cr, 7 Fe)
[Nickel (passive)
Silver solder
[Monel (70 Ni, 30 Cu)
[Cupronickels (60-90 Cu, 40-10 Ni)
[Bronzes (Cu – Sn)
[Copper
[Brasses (Cu – Zn)
[Chlorimet 2 (66 Ni, 32 Mo, 1 Fe)
[Hastelloy B (60 Ni, 30 Mo, 6 Fe, 1 Mn)
[Inconel (active)
[Nickel (active)
Tin
Lead
Lead – tin solder
[18-8 Mo Stainless Steel (active)
[18-8 Stainless Steel (active)
Ni-Resist (high Ni cast iron)
Chromium Stainless Steel, 13% Cr (active)
[Cast iron
[Steel or Iron
2024 aluminum (4.5 Cu, 1.5 Mg, 0.6 Mn)
Cadmium
Commercially pure aluminum (1100)
Zinc
Magnesium and magnesium alloys

Tabel II.1 Galvanic series dari beberapa logam dan paduan logam di air laut.

- 'Corrosion Engineering, 3rd edition', Mars G.Fontana, McGraw – Hill, 1986.

c. Korosi Celah (Crevice Corrosion)

Jenis korosi yang sering menyerang pada celah dan permukaan tertutup lainnya dari suatu logam yang terletak pada media korosi. Dimasa lampau, penggunaan korosi celah (crevice corrosion) dibatasi hanya untuk serangan terhadap paduan-paduan yang oksidanya terpasifkan oleh ion-ion agresif seperti klorida dalam celah-celah permukaan logam yang tersembunyi. Serangan dalam kondisi serupa terhadap logam tidak terpasifkan dahulu disebut korosi aerasi differensial. Sekarang orang cenderung mengabaikan pembedaan itu. Type dari perusakan korosi ini adalah selalu dalam skala kecil dari larutan yang terperangkap. Oleh sebab itu korosi ini disebut juga korosi deposit atau gasket corrosion. Celah dari logam yang terdapat dalam media korosi, akan bersifat anoda dan akan terserang korosi , sedang bagian logam lainnya akan bertindak sebagai oksidanya. Jadi korosi jenis ini merupakan korosi lokal dengan serangan sangat hebat dan sulit terdeteksi sebab tidak tampak dari luar . Definisi yang baik dan umum untuk korosi celah adalah serangan yang terjadi karena sebagian permukaan logam terhalang atau terasing dari lingkungan dibanding bagian lain logam yang menghadapi elektrolit dalam volume besar.

d. Korosi Sumuran (Pitting Corrosion).

Pitting Corrosion adalah bentuk pengkaratan yang terpusat pada satu titik dengan kedalaman tertentu. Korosi sumuran adalah korosi lokal yang secara selektif menyerang bagian permukaan logam yang :

- Selaput pelindungnya tergores atau retak akibat perlakuan mekanik,

- Mempunyai tonjolan akibat dislokasi atau slip yang disebabkan oleh tegangan tarik yang dialami atau yang tersisa,
- Mempunyai komposisi heterogen dengan adanya inklusi, segregasi atau presipitasi.

Korosi jenis ini serangannya relatif kecil dan kadang-kadang tertutup oleh kotoran sehingga seperti permukaan kasar saja dan sangat sulit dideteksi. Proses korosi lubang terbentuk sangat lambat dengan bentuk mengarah pada arah gravitasi. Jadi sementara korosi celah dipicu oleh beda konsentrasi oksigen atau ion – ion elektrolit, korosi sumuran (pada permukaan yang datar) hanya dipicu oleh faktor – faktor metalurgi.

e. Korosi Antar Butir (Intergranural Corrosion).

Korosi antar butir terjadi bila daerah batas butir ada endapan didalamnya. Batas butir sering menjadi tempat untuk proses pengendapan (precipitation) dan pemisahan (segregation) yang teramati pada banyak paduan. Pemisahan dan endapan berbeda hanya dari cara pembentukannya. Bahan-bahan asing ini terdapat dalam struktur logam dalam dua macam :

- Logam antara (intermetalik) yaitu unsur-unsur yang terbentuk dari atom-atom logam dan mempunyai rumus kimia yang sulit dikenali. Unsur ini bisa bersifat anoda atau katoda terhadap logam utama.
- Senyawa, yaitu bahan yang terbentuk dari logam dan unsur-unsur bukan logam.

Pada prinsipnya, setiap logam yang mengandung logam antara atau senyawa pada batas-batas butirnya akan rentan terhadap korosi inter granuler.

Oleh karena itu, pada prinsipnya ada tiga cara mengurangi kerentanan logam terhadap korosi :

- Gunakan baja berkarbon rendah dibawah 0,03 %
- Melakukan perlakuan panas pasca pengelasan untuk melarutkan endapan
- Penambahan elemen – elemen untuk memperkuat pembentukkan karbida

Korosi ini sangat sulit diamati dengan mata telanjang karena terjadi pada butiran kristal malahan tanpa ada perubahan pada kristalnya, baik dari segi kuantitatif maupun geometri. Dengan serangan pada butir atau batas butir akan dapat menyebabkan perubahan susunan kristal yang menyebabkan ikatan antar kristal juga renggang bila sudah sampai pada taraf ini perlu waspada dengan sifat toughness atau hardness dari material.

f. Korosi Erosi (Erosion Corrosion)

Korosi erosi adalah korosi yang disebabkan gerakan relatif antara fluida korosif dengan permukaan logam. Jika dalam fluida terdapat partikel padat, lapisan pelindung mungkin tergores sehingga korosi meningkat. Di pihak lain, aliran yang cukup akan mencegah pengendapan kotoran yang kalau terjadi akan menyebabkan terbentuknya sel-sel aerasi diferensial di celah-celah antar kotoran dan permukaan logam. Kecepatan hanyalah salah satu faktor yang dapat menyebabkan turbulensi; geometri sistem dapat menyumbangkan peran yang besar dalam menentukan apakah serangan akan terjadi atau tidak. Beberapa media korosif yang sering menyebabkan korosi erosi adalah gas, larutan encer, sistem organik dan metal cair. Peronggaan atau kavitasi adalah bentuk khusus korosi erosi yang disebabkan oleh pembentukkan dan pecahnya gelembung-

gelembung uap dipermukaan logam dan diderita lebih banyak oleh komponen-komponen yang digerakkan dalam kecepatan tinggi dalam fluida.

g. Korosi Tegangan (Stress Corrosion).

Korosi tegangan akan terjadi pada saat material mendapat perlakuan pembentukan, baik bending maupun cutting. Dengan proses pembentukan dengan bending maupun cutting maka akan muncul perbedaan tegangan dalam satu material, yang kemudian akan muncul aliran elektron pada material tersebut dan menyebabkan terjadinya korosi.

h. Korosi Getas (Fatigue Corrosion).

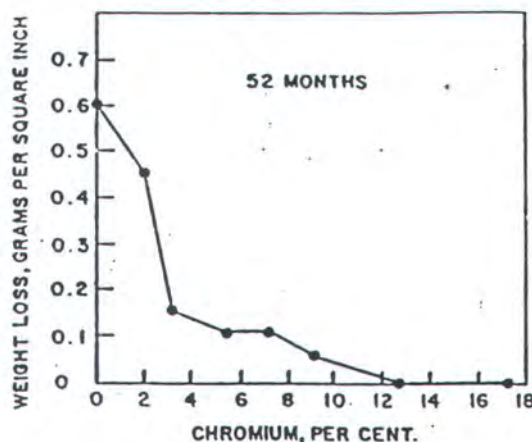
Korosi getas terjadi pada tegangan dibawah yield point dan setelah adanya pembebanan . Retak merambat sampai luas penampang lintang dari logam berkurang sampai pada suatu titik dimana ultimate strength dilalui sehingga brittle fracture terjadi secara cepat. Jadi korosi getas didefinisikan sebagai penurunan ketahanan fatigue akibat adanya media yang bersifat korosi.

II. 6 LOGAM STAINLESS STEEL

II. 6.1 Pengertian Umum Stainless Steel

Baja tahan karat atau stainless steel adalah baja paduan yang mempunyai sifat tahan korosi pada berbagai lingkungan terutama lingkungan yang mengandung air. Paduan utama baja tahan karat secara umum adalah chromium dan nickel. Unsur – unsur paduan ini, terutama chromium akan memberikan sifat yang khusus pada baja paduan ini, yaitu ketahanan terhadap korosi.

Sebenarnya chromium merupakan logam yang kurang mulia dibandingkan besi dalam deret elektrokimia. Jadi baja yang mengandung chromium akan terkorosi, khususnya teroksidasi dengan laju yang cepat. Pada kondisi demikian baja dikatakan aktif. Dilain pihak, reaksi antara chromium dan oksigen akan menghasilkan suatu oksida yang melapisi logam dibawahnya. Lapisan oksida chromium ini akan melekat kuat, bersifat kontinu, tidak dapat ditembus dan sulit sekali larut dalam beberapa zat kimia. Lapisan oksida ini akan melindungi logam dibawahnya terhadap kontak yang berkelanjutan dengan medium disekitarnya. Dengan demikian menghentikan reaksi logam dengan lingkungannya. Pada kondisi ini baja dikatakan pasif.



Gambar II. 1 Pengaruh kandungan chromium terhadap ketahanan korosi.

- 'Corrosion of Stainless Steel', Sedriks, A. John, John Wiley & Sons Inc, 1979.

Pengaruh chromium sudah dapat dilihat dengan hanya menambah sejumlah kecil unsur ini di dalam baja. Baja dengan 5% chromium akan mempunyai ketahanan korosi yang lebih tinggi dibandingkan dengan baja biasa. Semakin banyak chromium yang terkandung dalam baja, maka ketahanan korosinya semakin

baik. Pada gambar II. 1 ditunjukkan hubungan antara kandungan chromium dengan ketahanan korosi, dimana derajat kecepatan korosi dinyatakan dengan berat logam yang hilang dalam satu satuan luas dan waktu. Jika kandungan chromium berkisar antara 10% - 12%, maka paduan akan memiliki ketahanan korosi yang baik terhadap korosi udara atau spontaneous rusting. Sehubungan dengan ini dikenal istilah stainless steel untuk menamakan paduan besi chromium yang mengandung chromium di atas 10 %. Sedangkan penambahan nickel pada paduan Fe-Cr menjadi Fe-Cr-Ni akan memperbaiki ketahanan korosi baja pada media tertentu.

II. 6.2 Klasifikasi Stainless Steel

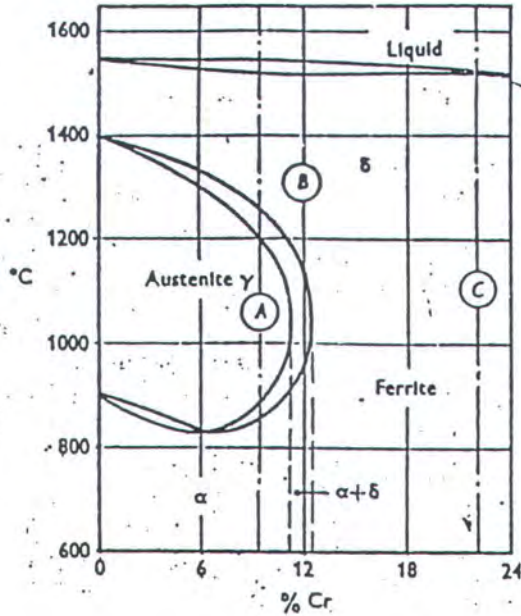
Berdasarkan mikrostruktur baja pada temperatur ruang secara umum, stainless steel dibedakan dalam tiga kelompok : martensitic, ferritic, dan austenitic stainless steel.

Martensitic stainless steel mempunyai karakteristik metalurgi serupa dengan paduan Fe-Cr dengan kandungan chromium pada umumnya antara 11% – 18%. Stainless steel jenis ini biasanya merupakan paduan dari Fe dan Cr yang tidak mengandung nickel. Type 403, 410 dan 420 merupakan contoh baja jenis ini. Baja ini mempunyai sifat tahan korosi terhadap beberapa medium dan mempunyai sifat mekanis yang baik seperti ketangguhan, mampu-mesin dan lain – lain. Kelompok ini dapat dikeraskan dengan perlakuan panas. Austenite yang terbentuk pada pemanasan akan bertransformasi menjadi martensit pada proses pendinginan cepat. Ketahanan korosinya tidak sebaik ferritic maupun austenitic. Karena ketangguhan

dan keuletannya yang baik, baja jenis ini sering digunakan untuk bahan sudu – sudu turbin , katup, dan ball bearing.

Ferritic stainless steel tersusun atas mikrostruktur ferit alpha yang mempunyai struktur lattice BBC (Body Centered Cubic). Kandungan chromium bervariasi antara 14% - 27%. Gambar II.2 memperlihatkan transformasi dari baja sebagai fungsi kandungan chromium. Tampak dalam gambar ini, bahwa ketika kandungan chromium mendekati 12%, paduan tidak mengalami transformasi phase sampai ke titik leburnya, dan dalam keadaan padat selalu berada dalam struktur ferritic. Akibatnya kelompok ferritic tidak dapat dikuatkan dengan perlakuan panas, yang memanfaatkan fenomena transformasi phase. Penambahan kekuatan pada stainless steel jenis ini dapat diperoleh dengan pekerjaan dingin. Sesuai dengan komposisinya, baja jenis ini memiliki ketahanan yang baik terhadap oksidasi dan korosi. Type 405, 430 dan 446 merupakan contoh baja jenis ini.

Austenitic stainless steel diperoleh dengan menambahkan elemen – elemen pemusatan bidang (Face Centered Elements) seperti nickel atau manganese, pada sistem Fe-Cr. Akibatnya daerah fase gamma bertambah luas dan dengan demikian pembentukan ferit alpha akan ditekan. Struktur austenite yang stabil pada temperatur kamar akan diperoleh apabila nickel yang ditambahkan tidak kurang dari 8%. Struktur austenite ini bisa juga diperoleh dengan penambahan unsur manganese. Pada umumnya baja austenite adalah paduan Fe-Cr-Ni yang dikenal dengan seri 300 (AISI). Baja ini bersifat nonmagnetik dan mempunyai ketahanan korosi yang paling baik diantara ketiga kelompok stainless steel di atas.



Gbr II.2 Pengaruh kandungan chromium terhadap transformasi phase baja tahan karat.

- 'Hand Book of Stainless Steel', Pecker, Donal, and Bernstein, McGraw Hill Book Co, 1977.

II. 6.3 Austenitic Stainless Steel

II. 6.3.1 Modifikasi, Komposisi, dan Struktur

Austenitic stainless steel yang banyak dipakai adalah type 304 yang biasa disebut stainless steel 18/8, karena mengandung 18% chromium dan 8% nickel. Jenis – jenis lain pada seri 300 pada prinsipnya merupakan hasil modifikasi stainless steel ini yang bertujuan untuk memperbaiki ketahanan korosi. Modifikasi – modifikasi yang penting antara lain adalah :

1. Penambahan molybdenum untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi pitting dan korosi celah.
2. Menurunkan kandungan karbon (type 304L, 309S, 310S) atau menjadikannya stabil dengan menambahkan titanium atau columbium plus tantalum (type 321, 347, 348) untuk menekan korosi intergranular pada proses pengelasan.
3. Penambahan unsur nickel dan chromium untuk memperbaiki ketahanan oksidasi pada temperatur tinggi dan memperbaiki kekuatan tariknya (type 310, 316, 330)
4. Penambahan nickel untuk memperbaiki ketahanan terhadap korosi tegangan dan digunakan pada pemakaian yang membutuhkan cold formability (type 305, dan 384)

Selain modifikasi – modifikasi diatas, terdapat juga modifikasi yang lain dengan cara menambahkan suatu elemen tertentu untuk memperoleh sifat khusus yang dibutuhkan dalam pemakaian. Seperti penambahan silikon (type 302 B) untuk meningkatkan ketahanan oksidasi pada temperatur tinggi; penambahan sulfur (type 310S) dan selenium (type 303 & 303 Se) untuk mempermudah perautan dan digunakan dimana kehalusan permukaan merupakan hal yang penting.

Austenitic stainless steel adalah paduan logam yang mempunyai kandungan nickel yang cukup untuk membentuk austenitic secara keseluruhan di bawah temperatur kurang lebih 1150 °C, dan tetap dalam phase ini pada temperatur

kamar. Baja dengan 18% chromium dan 8% nickel secara prinsip sudah dapat menghasilkan struktur austenite secara keseluruhan. Baja komersial dengan 18% chromium biasanya akan mengandung 9% nickel. Hal tersebut mengingat bahwa meskipun kandungan nickel didalam baja sudah mencapai 8%, sebagian kecil dari austenite yang terbentuk masih dapat berubah menjadi martensit akibat deformasi plastis pada temperatur kamar. Penambahan nickel akan memperbaiki stabilitas austenite sehingga pembentukan martensit dapat dihindari.

AISI Type	UNS Number	% C	% Cr	% Ni	% Other elements	Remark
Group I Martensitic chromium steels						
410	S41000	0.15 max	11.5-13.5	--	--	Turbine blades, valve trim
416	S41600	0.15 max	12-14	--	Se, Mo, or Zr	Free machining
420	S42000	0.35-0.45	12-14	--	--	Cut lery
431	S43100	0.2 max	15-17	1.25-2.5	--	Improved ductility
440A	S44002	0.60-0.75	16-18	--	--	Very hard, cutters
Group II Ferritic nonhardenable steels						
405	S 40500	0.08 max	11.5-14.5	0.5 max	0.1-0.3 Al	Al prevents hardening
430	S43000	0.12 max	14-18	0.5 max	—	Auto trim, tableware
442	S 44200	0.25 max	18-23	0.5 max	—	Resists O and S at high temperature
446	S 44600	0.20 max	23-27	0.5 max	0.25 N max	

Group III Austenitic chromium – nickel steels						
201	S 20100	0.15 max	16-18	3.5-5.5	5.0-7.5Mn; 0.25N max	Mn substitute for Ni
202	S 20200	0.15 max	17-19	4-6	7.5-10Mn; 0.25N max	Mn substitute for Ni
301	S 30100	0.15 max	16-18	6-8	2 Mn max	Strain hardens
302	S 30200	0.15 max	17-19	8-10	2 Mn max	Archltechnical uses
302B	S 30215	0.15 max	17-19	8-10	2-3 Si	Si for high-temp. oxidation
304	S 30400	0.08 max	18-20	8-12	1 Si max	Continuous 18-8S
304L	S 30403	0.03 max	18-20	8-12	1 Si max	Very low carbon
308	S 30800	0.08 max	19-21	10-12	1 Si max	High 18-8
309	S 30900	0.2 max	22-24	12-15	1 Si max	25-12, heat resistance
309S	S 30908	0.08 max	22-24	12-15	1 Si max	Lower carbon
310	S 31000	0.25 max	24-26	19-22	1.5 Si max	25-20, heat resistance
310S	S 31008	0.08 max	24-26	19-22	1.5 Si max	Lower carbon
314	S 31400	0.25 max	23-26	19-22	1.5-3.0	Si for high-temp. oxidation
316	S 31600	0.10 max	16-18	10-14	2-3 Mo	18-8S Mo
316L	S 31603	0.03 max	16-18	10-14	2-3 Mo	Very low carbon
317	S 31700	0.08 max	18-20	11-14	3-4 Mo	Higher Mo
321	S 32100	0.08 max	17-19	8-11	Ti 4xC(min)	Ti stabilized
347	S 34700	0.08 max	17-19	9-13	Cb+Ta 10xC (min)	Cb stabilized
Alloy 20*	J 95150	0.07 max	29	20	3.25 Cu, 2.25 Mo	Best corrosion resistance

Tabel II. 2 Komposisi kimia dari stainless steel.

- 'Hand Book of Stainless Steel', Pecker, Donal, and Bernstein, McGraw Hill Book Co, 1977.

II.6.3.2 Ketahanan Korosi

Sebelumnya telah disebutkan bahwa austenitic stainless steel mempunyai sifat ketahanan korosi yang paling baik diantara kelompok stainless steel yang lain. Elemen – elemen yang menjadikannya tahan korosi adalah chromium dan nickel.

Chromium mempunyai afinitas lebih tinggi (dibandingkan besi) terhadap oksigen dan pada temperatur kamar chromium akan segera teroksidasi membentuk lapisan tipis yang melekat erat pada permukaan baja dan mencegah terjadinya oksidasi lebih lanjut. Karena pembentukan lapisan oksida ini menuntut kehadiran oksigen, maka baja jenis ini mempunyai ketahanan korosi yang rendah apabila berada dalam suatu lingkungan yang tidak mengandung oksigen seperti pada asam chlorida, florida. Penambahan nickel pada baja jenis ini akan memberikan sifat tahan korosi pada lingkungan yang tidak mengandung oksigen, sesuai dengan sifat nickel yang merupakan logam mulia pada deret elektrokimia. Dengan demikian baja jenis ini yang mengandung cukup chromium dan nickel akan mempunyai ketahanan korosi dalam suatu spektrum yang luas. Namun perlu diingat bahwa dalam suatu lingkungan dan sistem pembebanan tertentu, baja jenis ini bisa mengalami suatu korosi yang parah juga.

II. 6.4 Pengelasan Baja Austenitic Stainless Steel

Pengelasan baja tahan karat austenite pada umumnya dapat dilakukan dengan mudah. Pengelasan dapat dilaksanakan dengan menggunakan bermacam proses pengelasan tanpa memerlukan suatu prosedur yang khusus. Masalah yang sering timbul pada pengelasan baja tahan karat austenite ini adalah kemungkinan terjadinya hot cracking akibat keuletan yang kurang pada daerah las – lasan. Hal tersebut dapat dihindari dengan cara mengatur agar daerah las – lasan mengandung antara 5% sampai 10% delta ferrite.

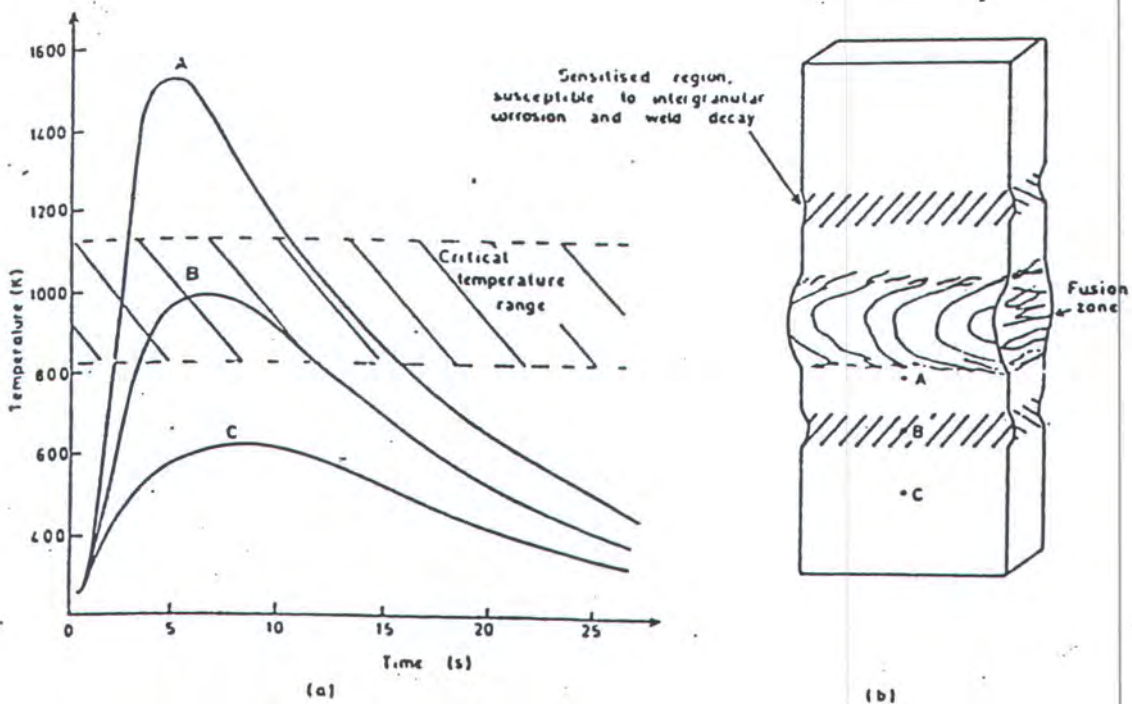
Masalah lain yang berhubungan dengan pengelasan baja ini adalah terbentuknya cacat pengelasan atau weld decay, apabila benda kerja hasil

pengelasan berada dalam suatu medium yang korosif. Daerah di sekitar pengelasan mengalami suatu korosi intergranular dan bisa menimbulkan kepatahan. Timbulnya cacat tersebut sangat dipengaruhi oleh siklus panas yang terjadi pada saat pengelasan, disamping hal – hal lain yang berhubungan dengan komposisi dari baja yang dilas.

Proses pengelasan adalah proses yang melibatkan panas. Panas dapat diperoleh dari energi listrik, gas dan lainnya. Dengan pemberian panas ini maka pada logam akan terjadi suatu siklus panas yang menunjukkan perubahan temperatur sebagai fungsi waktu. Siklus panas ini akan dialami oleh daerah pengelasan, daerah di sekitar pengelasan dan daerah logam induk. Siklus panas yang dialami oleh daerah – daerah tersebut berbeda – beda sesuai dengan jarak daerah tersebut terhadap sumber panas. Hal tersebut akan berhubungan dengan temperatur puncak yang dicapai , dan kecepatan pemanasan dan pendinginan dari masing – masing daerah. Daerah di dekat las – lasan akan mengalami temperatur yang tinggi dengan laju pemanasan dan pendinginan yang cepat. Daerah sedikit lebih jauh akan berada pada suatu temperatur puncak medium dengan laju pemanasan dan pendinginan relatif lambat, sedangkan daerah yang jauh dari las – lasan akan mengalami temperatur puncak yang rendah dan laju pemanasan dan pendinginan yang perlahan. Dengan siklus panas ini akan dapat ditentukan berapa lama suatu daerah berada pada suatu range temperatur tertentu.

Gambar II.3 menunjukkan siklus panas yang dialami oleh beberapa daerah pada pengelasan baja tahan karat austenite 304. Gambar ini menunjukkan juga secara skematis daerah terjadinya korosi intergranular sesuai dengan siklus panas yang dialami. Daerah dengan label B adalah daerah yang mengalami korosi

intergranular akibat presipitasi karbida. Siklus panas daerah ini (siklus B) menunjukkan bahwa daerah ini berada pada temperatur sensitis (range temperatur yang diarsir), yaitu range temperatur $500^{\circ}\text{C} - 800^{\circ}\text{C}$ pada saat presipitasi chromium karbida pada batas butir akan terjadi, dalam waktu yang relatif lama. Sehingga memungkinkan terjadinya presipitasi karbida. Daerah A dan C tidak menunjukkan terjadinya presipitasi karbida, karena sesuai dengan siklus panas yang dialami, daerah – daerah ini berada dalam waktu yang singkat pada temperatur sensitis.



Gbr.II.3 Siklus panas pada daerah disekitar pengelasan dan terjadinya korosi intergranular.

- 'Corrosion of Stainless Steel', Sedriks, A.John, John Wiley & Sons Inc, 1979.

Siklus panas ini sangat ditentukan oleh input panas yang diberikan pada proses pengelasan. Pada pengelasan dengan energi listrik, input panas ini ditentukan oleh pemilihan parameter – parameter pengelasan yaitu : arus, tegangan dan kecepatan pengelasan. Input panas ini akan semakin tinggi dengan peningkatan arus dan tegangan, dan menjadi semakin rendah dengan makin tingginya kecepatan pengelasan.

Selain dipengaruhi oleh parameter – parameter pengelasan, siklus panas pada daerah di sekitar pengelasan juga dipengaruhi oleh pemilihan proses pengelasan. Pengelasan dengan efisiensi panas yang rendah, seperti pada pengelasan oxy-acetylene, akan memanaskan daerah di sekitar pengelasan dalam waktu yang lama. Hal tersebut akan memperbesar daerah yang terpengaruh panas dan bisa berakibat timbulnya perubahan – perubahan metalurgi secara lebih extensive.

Siklus panas ini juga dipengaruhi oleh ketebalan dari benda kerja yang dilas. Ketebalan benda kerja akan mempengaruhi derajat penyerapan panas dan kecepatan pendinginan. Disamping pengaruh – pengaruh diatas ini, ketebalan benda kerja akan dapat mempengaruhi juga prosedur pengelasan yang dipakai. Pada pengelasan benda kerja yang tebal, pengelasan tidak dapat dilakukan dengan hanya menggunakan satu lapis las saja. Sisi – sisi dari benda kerja pada bagian yang akan dilas harus dibentuk suatu kampuh tertentu, yang kemudian berangsur – angsur akan diisi dengan lapisan las yang satu di atas yang lain. Pengelasan dengan lapis las banyak seperti ini bisa menempatkan daerah di sekitar pengelasan pada suatu

temperatur tinggi dalam waktu yang relatif lama. Hal ini dapat memperhebat perubahan metalurgi pada logam.

II. 7 AUSTENITIC MANGANESE STEEL

II. 7.1 Pengertian Umum Austenitic Manganese Steel

Baja ini ditemukan sekitar tahun 1800 oleh Sir Robert Hadfield dan selama ini telah banyak digunakan dalam dunia industri. Baja ini dinamakan manganese steel karena kandungan manganese (Mn) yang tinggi, berkisar antara 11% - 14% disamping unsur – unsur paduan lainnya. Sedangkan penamaan austenitic, dikarenakan pada keadaan normal (temperatur kamar) sesudah pengecoran (As Cast), struktur mikro baja ini adalah austenite dan karbida.

Sifat utama dari austenitic manganese steel adalah ketahanan terhadap keausan dan terhadap beban – beban mekanis. Hal ini dikarenakan pada baja ini terdapat efek work hardening pada lapisan permukaannya (pengerasan oleh pengerjaan mekanis dingin). Oleh karena itu, baja ini banyak digunakan untuk peralatan – peralatan yang mampu menahan beban impact yang berat dan abrasi seperti stone crusher, hammer mill, bucket shovels, dredge, rail crossing.

Pada kondisi as-cast, austenitic manganese steel masih bersifat getas karena masih adanya karbida. Sifat getas ini dapat diatasi dengan perlakuan panas yang tepat (solution treatment). Sedangkan untuk menaikkan ketahanan abrasi dapat dilakukan dengan mengkombinasikan kandungan karbon dengan mangan atau dengan penambahan beberapa elemen paduan seperti silikon, chromium, nickel, molybdenum, vanadium, dan lain – lain.

Titik lebur baja mangan austenite ini termasuk rendah, sekitar 1360 °C. Dalam proses pengecorannya didapat beberapa masalah terutama karena sifat – sifatnya yang satu sama lain saling berkaitan / tidak dapat dipisahkan, yaitu :

- Konduktivitas panas rendah disertai dengan koefisien ekspansi panas yang tinggi.
- Cairan austenitic manganese steel cenderung bereaksi dengan material refraktori yang asam.
- Kecepatan transformasi yang tinggi dari fasa austenitic metastabil menjadi karbida atau perlit.

Kemampuan work hardening yang baik dari austenitic manganese steel tidak diimbangi dengan kemudahan proses machining-nya. Austenitic manganese steel tergolong dalam baja yang inmachinable, sehingga sebagian besar proses finishing dilakukan dengan gerinda.

II. 7.2 Sifat – Sifat Austenitic Manganese Steel

Sifat – sifat austenitic manganese steel meliputi sifat fisik, mekanis dan work hardening.

II. 7.2.1 Sifat – Sifat Fisik

Austenitic manganese steel mempunyai sifat konduktivitas panas rendah dan koefisien ekspansi tinggi jika dibandingkan plain carbon steel seperti terlihat pada tabel II.2

AUSTENITIC MANGANESE STEEL (0.2% C, 13% Mn, 1323 °K (1050 °C) Water Quenching			PLAIN CARBON STEEL (0.23% C, 0.6% Mn) Annealing	
Temperatur	Coefficient of thermal expansion / 10 ⁻⁶ K ⁻¹	Thermal conductivity / cal / cm s. °C	Coefficient of thermal expansion / 10 ⁻⁶ K ⁻¹	Thermal conductivity / cal / cm s. °C
Room temp.	—	0.031	—	0.124
373 °K	18.01	0.033	12.18	0.122
473 °K	19.37	0.039	12.66	0.117
479 °K	21.71	0.046	13.47	0.102

Tabel II.3 Koefisien ekspansi dan konduktivitas panas austenitic manganese steel dan plain carbon steel.

- ‘Manganese Steel’, Oliver and Boyd, Tweeddale Court, Canada, 1976.

Proses pengecoran austenitic manganese steel memerlukan perhatian khusus untuk mencegah terjadinya retak akibat tekanan panas selama pendinginan di dalam cetakan. Pada pengecoran yang besar, temperatur memegang peranan penting akibat melubernya cairan logam dari cetakan. Karena itu pemanasan untuk perlakuan pengendapan (solution treatment) dikontrol dengan hati – hati.

Table Physical Properties of Austenitic Manganese Steel	
Elastic modulus	24 to 30 million psi
Work hardening capacity	From 170 – 200 BHN to 450 – 550 BHN
Specific gravity	7,87
Density	0,286 lb / inc ³ ; 493 lb / ft ³
Melting point	Liquidus approximately 2480 °F
Electrical resistivity	08,3 microhms/ cm ³ at room temperature, or about 7x that of pure iron
Electrical conductivity	0,0143 megohms/ cm ³
Specific heat (thermal capacity)	0,12 g.cal/ k/ °C at room temperature
Thermal conductivity	0,032 cal . cm/ cm ² sec °C at room temperature
Thermal expansion coefficient	32-572 °F – 11,51 x 10 ⁻⁶ lb/ in/ °F
Magnetic permeability	1,003 – 1.03 [H – 24] (after toughening)
Wet quartz sand abrasion resistance	0,75 – 0,85 [SAE 1020 – 1.00] Lower fatigue indicate better wear resistant properties

Tabel II.4 Sifat – sifat fisik austenitic manganese steel.

- ‘Manganese Steel’, Oliver and Boyd, Tweeddale Court, Canada, 1976.

Austenitic manganese steel pada temperatur kamar bersifat nonmagnetik, sehingga pengujiannya tidak bisa menggunakan metode magnetik partikel. Biasanya menggunakan metode dye penetrant, tabel II.3 diatas memperlihatkan sifat – sifat fisik austenitic manganese steel.

II. 7.2.2 Sifat – Sifat Mekanis

Pada pengujian tarik, austenitic manganese steel mempunyai yield point yang tidak tertentu. Pada baja ini tidak terdapat necking pada reduction area. Hal ini disebabkan karena work hardening yang optimum akan terjadi pada daerah dimana terjadi deformasi yang paling besar. Tegangan yang terus bertambah akan menghentikan perpanjangan dan kemudian deformasi akan terjadi dilain tempat sampai hardening dan deformasi akan terjadi merata pada material.

Kekerasan setelah proses penangguhan sekitar 200 BHN. Kekerasan ini meningkat dengan cepat dengan adanya proses work hardening karena deformasi. Dan karena sifat tersebut austenitic manganese steel digolongkan dalam baja khusus.

Uji impact dengan spesimen bertakik memberikan kekuatan impact yang sangat tinggi. Spesimen biasanya lebih sering mengalami bengkok daripada patah.

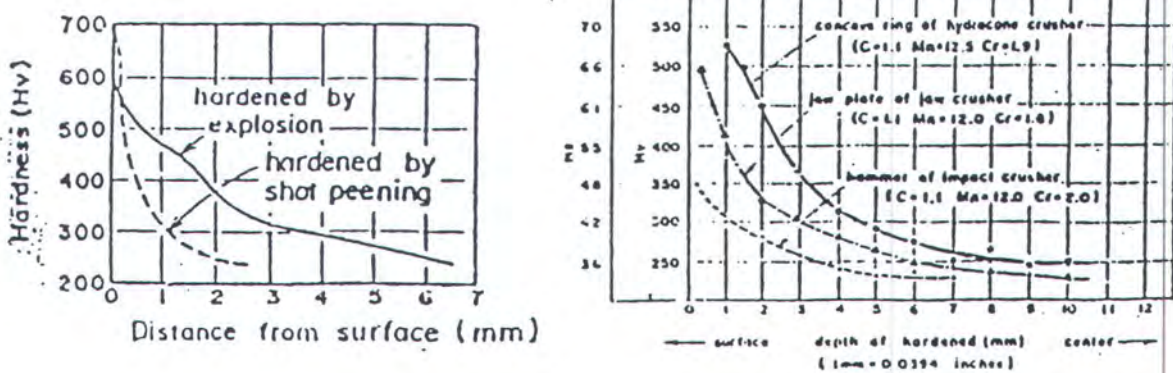
II. 7.2.3 Sifat – Sifat Work Hardening

Work hardenability austenitic manganese steel secara ekstrim adalah tinggi. Kekerasan maksimum yang mampu dicapai kira – kira 550 BHN.

Gambar II.4 menunjukkan pengaruh work hardening dari austenitic manganese steel. Model tersebut ditunjukkan oleh beberapa pengerjaan dingin. Impact yang

berat akan menghasilkan kedalaman pengerasan yang rendah dengan nilai kekerasan maksimum.

Beberapa pengerjaan yang telah dipublikasikan berkenaan dengan mekanisme work hardening baja austenitic manganese steel, yaitu akibat deformasi menyebabkan transformasi austenite – martensite.



Gambar II. 4 Pengaruh work hardening terhadap kekerasan austenitic manganese steel.

- 'Manganese Steel', Oliver and Boyd, Edinburg, Tweeddale Court, 1976.

II. 7.3 Komposisi Kimia Austenitic Manganese Steel

Komposisi kimia austenitic manganese steel bervariasi yaitu 1,0 – 1,4 % C dan 10 – 14 % Mn seperti yang tercantum dalam ASTM A128.

Unsur – unsur paduan sering ditambahkan pada austenitic manganese steel untuk meningkatkan efektifitas, mampu cor, heat treatment.

1. Manganese

Pada austenitic manganese steel, kandungan mangan adalah 11 % – 14 %. Kandungan mangan ini sangat berpengaruh pada ketangguhan austenitic manganese steel. Kandungan mangan di luar range ini akan

mengurangi ketangguhannya. Ketangguhan yang maksimum pada austenitic manganese steel didapatkan pada range kandungan mangan 12% – 14 %. Mangan hampir tidak berpengaruh pada yield strength tetapi akan mempengaruhi tensile strength dan ductility-nya.

Mangan adalah austenite stabiliser yang baik, selain berpengaruh terhadap sifat – sifat mekanis austenitic manganese steel. Mangan juga berpengaruh terhadap diagram fasa austenitic manganese steel, dengan sendirinya juga berpengaruh terhadap transformasi fasa yangn terjadi bila austenitic manganese steel mengalami perlakuan panas.

2. Carbon

Komposisi kimia yang penting sesudah mangan pada austenitic manganese steel adalah carbon. Austenitic manganese steel memiliki kandungan carbon 1,05 % - 1,3 %. Carbon sangat mempengaruhi besarnya yield strength. Pengurangan kandungan carbon akan menyebabkan berkurangnya yield strength. Kandungan carbon yang optimum disarankan adalah 1,15 %. Kandungan carbon yang terlalu tinggi akan menimbulkan masalah dalam proses heat treatment atau pengecorannya. Kandungan carbon yang terlalu tinggi akan memudahkan terjadinya presipitasi karbida selama proses heat treatment. Sebaliknya kandungan carbon yang terlalu rendah dapat menolong untuk menghindari perapuhan akibat presipitasi karbida selama pendinginan di bawah batas – batas kelarutannya.

3. Silikon

Silikon ditambahkan dalam austenitic manganese steel dengan tujuan meningkatkan fluidity, disamping itu juga untuk meningkatkan yield strength dan ketahanannya terhadap aliran deformasi plastis karena beban impact yang berulang. Silikon ditambahkan dengan kandungan yang jarang sekali melebihi 1 %, tetapi kadang – kadang bisa ditambahkan sampai 2 % untuk tujuan tertentu seperti diutarakan sebelumnya.

Pada kandungan silikon disekitar 2,2 % akan mengakibatkan berkurangnya yield strength dan ductility-nya. Kondisi yang paling buruk adalah bila kandungan silikon melebihi 2,3 %.

4. Nickel

Penambahan nickel ke dalam komposisi kimia austenitic manganese steel terutama berfungsi sebagai penghambat embrittlement karbida selama pengelasan atau pemanasan ulang. Pada beberapa penyelidikan terhadap hubungan antara nickel dan stabilitas austenite telah menunjukkan bahwa nickel relatif lemah dalam memperlambat presipitasi karbida pada kandungan carbon tinggi.

5. Chromium

Diantara elemen pembentuk karbida, chromium kadang – kadang ditambahkan ke dalam komposisi kimia austenitic manganese steel. Biasanya ditambahkan dalam jumlah 1 % - 2 %. Pengaruh umum dari chromium adalah menurunkan ductility. Unsur ini sedikit menaikkan yield strength dan

kekerasan. Pendinginan kontiyu dan percobaan pemanasan ulang menunjukkan bahwa chromium agak memperlambat presipitasi karbida.

6. Molibdenum

Penambahan molibdenum sebanyak 1 % - 2 %, akan cukup efektif meningkatkan yield strength. Fungsinya menahan presipitasi karbida secara luar biasa. Kandungan molibdenum yang rendah memudahkan dalam produksi cor – coran berat.

7. Vanadium

Vanadium cenderung membentuk dispersi karbida yang tidak dapat dideformasi dengan baik. Sangat efektif meningkatkan kekerasan dan yield strength. Tetapi dapat mengurangi ketangguhan secara tajam. Di samping itu juga berfungsi sebagai elemen penghalus butir.

8. Titanium

Titanium berfungsi menghaluskan struktur solidifikasi dari cor – coran. Unsur ini efektif untuk melawan perapuhan atau keretakan selama proses heat treatment.

Penambahan titanium lebih dari 0,4 % akan meningkatkan presipitasi karbida atau nitrida secara ekstrim dan mengurangi ketangguhan secara ekstrim pula.

II. 8 KOROSI PADA PENGELASAN

Pembuatan suatu sambungan dari dua atau lebih komponen pada suatu posisi / tempat tertentu a) dengan pengertian sebuah alat penguncian secara mekanis seperti sekrup dan baut atau paku keling, b) dengan cara pengelasan, pematrian, atau penyolderan atau c) dengan sebuah bahan perekat. Komponen dari suatu sambungan dapat berupa dari logam yang sejenis atau tidak sejenis struktur dan komposisinya, logam dan non logam atau keseluruhannya merupakan non logam, tetapi di sini yang kita tinjau adalah penyambungan dengan pengelasan pada logam. Dimana pada tahapan tertentu dari suatu pabrikasi manufaktur didominasi oleh proses penyambungan. Sehingga korosi sambungan dengan pengelasan pada logam menjadi sangat penting, dimana sifat alami logam terlibat dan geometri sambungan dapat menyebabkan bagian mana dari logam terkena korosi setempat.

Walaupun korosi pada bimetalik melibatkan logam yang berbeda tetapi perlu juga diperhatikan untuk korosi penyambungan logam adalah perbedaan potensial dapat dihasilkan dari perbedaan pada struktur atau tegangan selama proses pengelasan ataupun proses selanjutnya setelah pengelasan.

Logam carbon manganese mendominasi struktur pada perkapalan dan bangunan lepas pantai dan digunakan secara luas berdasarkan atas range kemampuan mekanikal propertisnya yang sangat baik, dapat tersedia / terdapat dengan baik, dan pertimbangan harga yang sesuai. Walaupun demikian, logam tersebut bukan logam yang memiliki keistimewaan tahan terhadap korosi pada media larutan garam. Proteksi terhadap korosi pada logam ini harus disediakan coating yang efektif (termasuk cladding dan sheating) atau proteksi katodik, tergantung pada keadaannya. Dan rencana pada proteksi tersebut akan

menimbulkan biaya besar, baik pada saat biaya instalasi, saat perawatan dan meningkatnya biaya pada beberapa tahapan dari periode penggunaan instalasi tersebut.

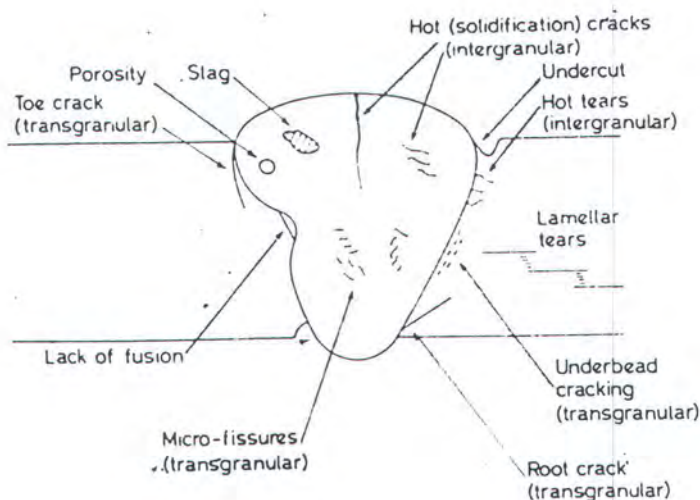
Penyambungan dengan pengelasan berbeda dengan solder atau brazing, sebab pengelasan menghasilkan material homogen yang kontiyu dengan melibatkan atau tidak filler material sebagai penyambung. Ada banyak jenis proses yang mana pada umumnya mengaplikasikan energi termal untuk meleburkan logam yangn akan disambung.

Pemeriksaan makrografik dari sambungan pengelasan menunjukkan dua zona secara jelas, yaitu zona fusi dengan areanya mahkota las dan area dekat disekitarnya, dan zona logam induk. Lebih jauh dapat dijelaskan bahwa perbedaan dalam komposisi kimia terjadi akibat pembakaran elemen – elemen paduan secara tidak sengaja atau disengaja. Karateristik lainnya dari pengelasan adalah :

1. Menghasilkan suatu sistim residual stress yang mana terjadi setelah pengelasan selesai dan pada daerah sekitar pengelasan, yang mana tegangan tersebut dapat mencapai hingga ke yield point.
2. Pada kasus pengelasan fusi, permukaan lapisan logam keadaannya kasar yang dapat menyebabkan tegangan meningkat dan sebagai tempat kondensasi (lembab).
3. Daerah sambungan ditutupi oleh kerak oksida dan memungkinkan lapisan tersebut secara kimia menjadi reaktif, terutama bila keadaan lembab.
4. Lapisan pelindung coating pada logam yang akan dilas akan terbakar habis sehingga mahkota las dan logam induk disekitarnya menjadi tidak terlindungi.

Oleh karena itu menggunakan pengelasan untuk proses pabrikasi dapat mengubah karakteristik korosi dari suatu struktur rekayasa.

Tidak ada jaminan bahwa pengelasan yangn tanpa retak (crack) secara otomatis dapat dihasilkan, ketika dilakukan pabrikasi pada logam yang dapat dilas. Dan hasil lasnya bukan merupakan suatu material propertis yang spesifik tetapi merupakan kombinasi dari propertis logam induk, filler material (bila digunakan) dan faktor – faktor lainnya. Sebagai akibat dari struktur material yang biasanya memiliki hasil las yang tidak sempurna dapat menimbulkan cacat las pada mahkota las atau pada daerah HAZ (heat affected zone) seperti terlihat pada gambar II. 5. Yang dapat membahayakan mekanikal propertis dan juga menimbulkan permasalahan korosi pada hasil las, seperti korosi pitting pada slag inclusion yang dangkal pada hasil las dan korosi celah (crevice) pada cacat porosity atau retak (crack).

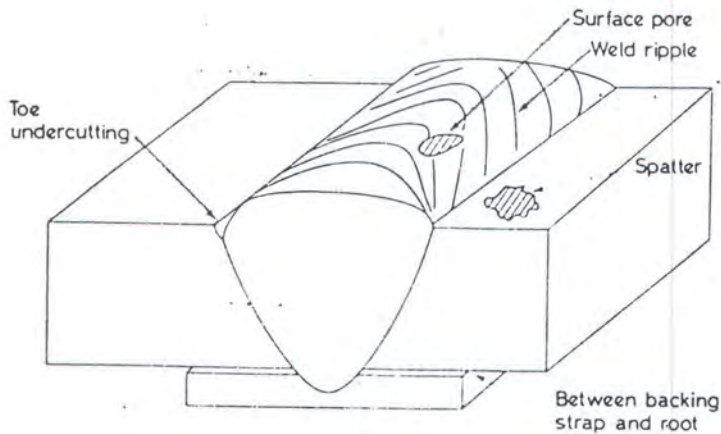


Gambar II. 5 Cacat – cacat pada pengelasan.

- 'Corrosion vol:2 Corrosion Control, 3rd edition', L.L. Shreir, R.A. Jarman, Butterworth Ltd, 1994.

Ketidakberesan yang lain pada pengelasan dapat meningkatkan terjadinya celah seperti sudut penyambungan, terdapatnya backing strip dan spatter yang dapat

menimbulkan korosi celah. Pada pengelasan butt joint pada umumnya terdapat celah (crevice).



Gambar II.6 Kemungkinan tempat terjadinya celah (crevice) pada pengelasan.

- 'Corrosion vol:2 Corrosion Control, 3rd edition', L.L. Shreir, R.A. Jarman, Butterworth Ltd, 1994.

Korosi celah pada pengelasan butt joint akibat penetrasi yang buruk. Sebaliknya, bila terdapat mahkota las yang menonjol pada pengelasan pipa bagian dalam, erosi / korosi dapat terjadi akibat turbulence yang dihasilkan. Kejadian korosi celah lainnya yang dapat terjadi akibat jarak yang tidak benar pada pengelasan butt joint.

Pada kondisi tertentu hasil pengelasan dapat mengalami korosi akibat terjadinya fusion line crack pada daerah toe weld metal, yang disebut knifeline attack. Hal ini terjadi pada pengelasan baja stabil setelah mengalami asam kuat nitric yang panas. Terjadinya knifeline attack dapat diperkecil dengan membatasi kandungan carbon pada logam sampai 0,60 % maksimum.

Untuk kondisi heat affected zone (HAZ) untuk knifeline attack akibat panas selama pengelasan dan lamanya waktu pada temperatur tersebut dapat secara kritis menyebabkan serangan pada kekerasan logam. Tetapi faktor ini berbeda dari satu juru las ke juru las lainnya.

Untuk korosi stress – corrosion crack dikatakan berbahaya karena merupakan fenomena yang tersembunyi. Residual stress yang meningkat akibat pengelasan yang sering mencapai kondisi mendekati yield point, yang dapat diperparah oleh kontaminasi klorida pada lingkungan yang dapat menyebabkan terjadinya transgranular dan retak rambut. Cara yang paling baik untuk mengeliminasi masalah ini adalah dengan proses annealing untuk membebaskan residual stress dan menambahkan molybdenum pada logam.

Setiap tipe dari permasalahan korosi dan oksidasi dapat ditemukan pada sambungan suatu struktur sedangkan hampir semua struktur rekayasa harus disambung. Maka dapat terlihat bahwa suatu struktur dapat berada pada ambang disintegrasi. Belum lagi, untuk semua sambungan struktur dapat gagal akibat korosi.

II. 9 POLARISASI

Suatu logam tidak berada dalam kesetimbangan dengan larutan yang mengandung ion –ionnya, potensial elektrodanya berbeda dari potensial korosi bebas dan selisih antara keduanya disebut polarisasi (η). Polarisasi merupakan parameter yang penting untuk menentukan laju proses korosi. Dimana laju korosi diekspresikan sebagai berikut :

$$v = k_{kor} \cdot [\text{reaktan}] \dots\dots\dots[2.1]$$

dengan

$$k_{kor} = A \cdot \exp (-\Delta G^{**} / RT) \dots\dots\dots[2.2]$$

(A sebagai tetapan). Dari persamaan [2.1] dan [2.2] disubstitusi menjadi :

$$v = A \times \exp \left(\frac{-\Delta G}{RT} \right) (reaktan) \dots\dots\dots[2.3]$$

Dalam keadaan setimbang, laju reaksi anoda adalah (i_a) sama dengan laju reaksi katoda (i_c), secara matematis ditulis sebagai berikut :

$$i_0 = i_a = -i_c$$

Maka persamaan [2.3] menjadi :

$$i_a = i_0 = A_0 \times \exp \left(\frac{-\Delta G}{RT} \right) \dots\dots\dots[2.4]$$

Polarisasi atau penyimpangan dari potensial kesetimbangan sama dengan gabungan polarisasi anoda pada logam dan polarisasi katoda pada lingkungannya.

Jika polarisasi keseluruhan adalah η polarisasi anodanya αη dan polarisasi dan polarisasi katodanya (1 - α) η maka pers. [2.4] menjadi :

$$i_0 = A_0 \times \exp \left(\frac{-\Delta G^{**} + \alpha \eta zF}{RT} \right) \dots\dots\dots [2.5]$$

$$= A_0 \times \exp \left(\frac{-\Delta G^{**}}{RT} \right) \cdot \left(\frac{\alpha \eta zF}{RT} \right) \dots\dots\dots [2.6]$$

Bila pers. [2.4] disubstitusikan ke pers. [2.6]

$$i_a = i_0 A_0 \times \exp \left(\frac{\alpha \eta zF}{RT} \right) \dots\dots\dots[2.7]$$

Misalkan ; $A = \alpha zF / RT$

maka pers. [2.7] menjadi

$$i_a = i_0 \exp. (A' \eta) \dots\dots\dots[2.8]$$

Jika diambil logaritma menjadi :

$$\eta = \frac{2.303}{A'} \lg \left(\frac{i_a}{i_0} \right) \dots\dots\dots[2.9]$$

misalkan $\beta_a = 2,303 / A'$

$$= 2,303 RT / \alpha zF$$

maka pers.[2.9] menjadi :

$$\eta_a = \beta_a \lg \left(\frac{i_a}{i_0} \right) \dots\dots\dots[2.10]$$

atau pers diatas menjadi :

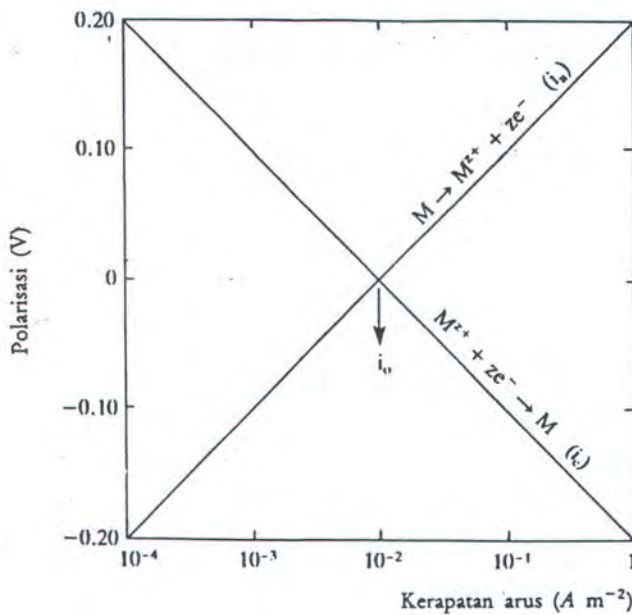
$$\eta_a = \beta_a \log i_a - \beta_a \log i_0 \dots\dots\dots[2.11]$$

Persamaan [2.11] dikenal dengan persamaan Tafel dengan parameter anoda, jika harga β mengacu ke reaksi katoda menjadi :

$$\beta_c = 2,303 / A'$$

$$= 2,303 RT / (1-\alpha) Zf$$

Tetapan –tetapan β_a dan β_c disebut tetapan anoda dan katoda Tafel



Gambar II. 7 Pengeplotan Tafel teoritis.

- 'Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan', K.R. Trethewey, J. Chamberlain, PT Gramedia, 1991.

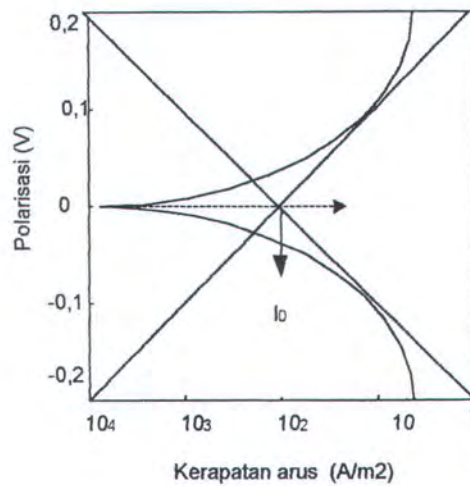
Cara Stern dan Geary dengan mengeplot variasi polarisasi terhadap $\log i$ baik untuk reaksi anoda maupun reaksi katoda. Perhitungan arus yang terukur adalah :

$$i_{ukur} = i_a - i_c$$

sehingga pers. [2.10] menjadi :

$$\eta_a = \beta_a \lg \left(\frac{i_{ukur} + i_c}{i_0} \right) \dots\dots\dots [2.12]$$

bila $i_{ukur} \gg i_c$ maka percobaan menunjukkan pengeplotan Tafel linear. Bila E_{kor} , yakni bila i_a kurang lebih sama dengan i_0 maka harga kerapatan arus yang terukur jauh meninggalkan harga i_a yang sejati dan kita akan mendapatkan penyimpangan yang besar sekali dari perilaku linier. Kita masih dapat menetapkan harga i_0 melalui ekstrapolasi terhadap bagian yang linear pada hasil pengeplotan polarisasi.



Gambar II.8 Pengeplotan Tafel praktis yang diidealkan

- 'Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan', K.R. Trethewey, J. Chamberlain, PT Gramedia, 1991.

Pada hukum Faraday rate korosi (mpy) adalah : $K \frac{ai}{nD}$

- 'Corrosion Engineering 3rd edition', Mars G.Fontana, Mc Graw Hill Book Co, 1986.

dimana : D = Densitas (gr/cm³)

K = Konstanta (0,129 dalam mpy)

a = Berat atom

n = Jumlah elektron yang bereaksi (valensi)

i = rapat arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

konversi 1 mpy = 0,0254 mm/yr

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 VARIABEL PERCOBAAN

1. Elektroda las (dia. 3,2 mm)

- a. Elektroda kandungan Chromium tinggi : DIN 855 : E6 - 55

OK Selectrode 84.58

Chemical composition of weld metal (%)

C	Si	Mn	Cr	Ni
0,7	0,5	0,7	10,5	---

- b. Elektroda kandungan Mangan tinggi: AWS A5.13-73:E Fe Mn- A

OK Selectrode 86.28

Chemical composition of weld metal (%)

C	Mn	P	S	Ni
0,75	14	0,010	0,01	3,5

2. Konsentrasi larutan HCl (larutan pengkorosif).

- a. Konsentrasi 5 %
- b. Konsentrasi 10 %
- c. Konsentrasi 15 %

3. Luas permukaan dari specimen percobaan pada larutan HCL konsentrasi 10 %.

- a. specimen percobaan dengan luas : $118,80 \text{ cm}^2$ atau $18,414 \text{ in}^2$
- b. specimen percobaan dengan luas : $150,40 \text{ cm}^2$ atau $23,312 \text{ in}^2$
- c. specimen percobaan dengan luas : $182,0 \text{ cm}^2$ atau $28,210 \text{ in}^2$

III.2 BAHAN PERCOBAAN.

1. Pelat Stainless Steel 316L .
2. Larutan HCl
3. Elektroda las

III.3 PERALATAN PERCOBAAN.

1. Peralatan pengelasan

Peralatan pengelasan yang diperlukan untuk pengelasan SMAW.

2. Sel tiga – elektroda

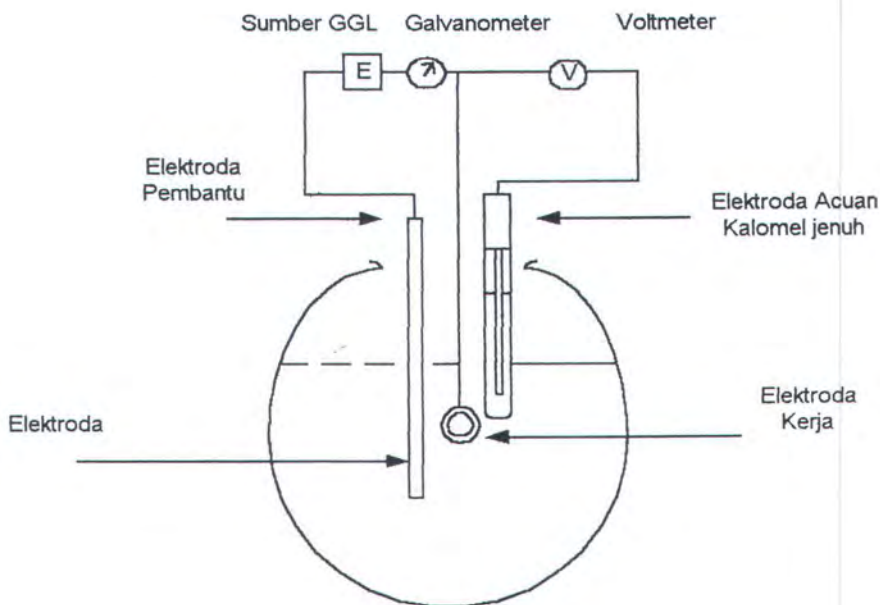
Sel tiga – elektroda adalah perangkat laboratorium baku untuk penelitian kuantitatif terhadap sifat – sifat korosi bahan – bahan.

Dengan komponen – komponen sel tersebut adalah:

Elektroda Kerja (Working electrode). Sebutan ini diberikan kepada elektroda yang sedang diteliti.

Elektroda Pembantu (Counter electrode). Yaitu elektroda untuk mengangkut arus dalam rangkaian yang terbentuk dalam penelitian. Elektroda ini tidak diperlukan dalam pengukuran potensial. Biasanya batang carbon, platina atau emas.

Elektroda Acuan (Reference electrode). yaitu elektroda sebagai titik dasar untuk referensi untuk pengukuran – pengukuran potensial elektroda kerja. Arus yang melalui elektroda ini harus sekecil – kecilnya sehingga dapat diabaikan. Bila tidak elektroda ini akan ikut dalam reaksi sel dan potensialnya tidak konstan. Elektroda acuan yang paling praktis adalah elektroda kalomel jenuh.



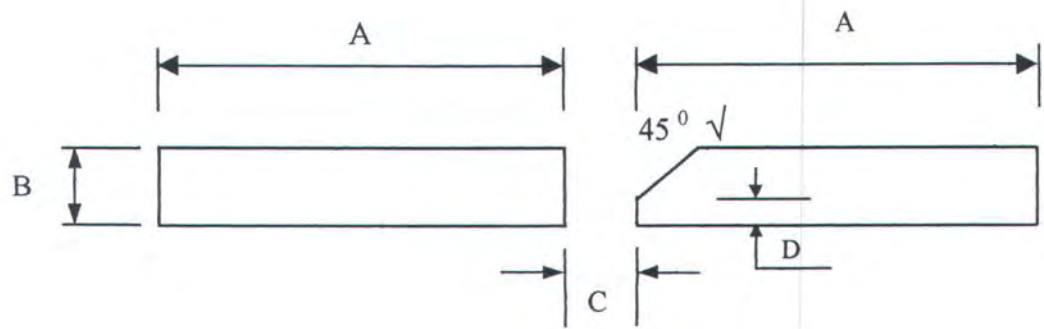
Gbr III.1 Sel tiga elektroda

3. Beaker Glass.
4. Potentiostat - Galvanostat
5. Kertas gosok SiC grade 180, 200, 400 dan 600.

III.4 PROSEDUR PENELITIAN.

1. Persiapan Material Uji (Specimen)

- a. Melakukan pengelasan SMAW pada pelat Stainless Steel 316L ukuran 300 x 75 x 8 mm



Gambar III.2 Penampang melintang pelat Stainless Steel untuk proses pengelasan

Dimension	A	B	C	D
mm	75	8	3	2

Tabel III.1 Parameter pengelasan sesuai welding prosedure standard.

Variabel	Elektoda Manganese	Elektroda Chromium
- electrode size (mm)	3,2	3,2
- electrode feed rate (mm/ s)	63,5	67,7
- travel speed (mm/ s)	10,6	8,0
- welding voltage (V)	36 – 37	36 – 37
- welding current (A)	240 – 260	280 – 320
- nuimber of passes	2	2
- preheat./ interpass temp (⁰ C)	150	100

Dalam pelaksanaan pengelasan pelat stainless steel : welding current dan welding voltage besarnya diatur hanya berdasarkan setting pada kontrol panel mesin las. Untuk pengukuran suhu temperatur menggunakan kapur temperatur (crayon temperature) 100⁰C. Sedangkan untuk pengukuran electrode feed rate dan travel speed

tidak dilakukan karena tidak terdapatnya alat ukur yang diperlukan pada saat pengelasan.

- b. Melakukan pemotongan pada pelat Stainless Steel setelah pengelasan dengan ukuran: 150 x 30 x 8mm sebanyak 9 spesimen, 150 x 40 x 8mm sebanyak 3 spesimen, 150 x 50 x 8mm sebanyak 3 spesimen.
- c. Membersihkan dan menghaluskan permukaan dengan kertas gosok SiC grade 180, 200 dan 400.

2. Persiapan Larutan

Mempersiapkan masing – masing larutan HCl sebagai larutan pengkorosif dengan konsentrai 5 %, 10 % dan 15 % pada gelas beaker.

3. Pelaksanaan Percobaan

Metoda percobaan untuk menghitung laju korosi adalah dengan polarisasi (polarization) dengan menggunakan standar ASTM (ASTM sec 03, vol 03.02, G5 – 94, 'Standard Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements') . Metode perendaman yang digunakan adalah *total immersion* yaitu perendaman keseluruhan spesimen waktu percobaan.

Langkah – langkah pelaksanaan percobaan:

1. Memasang rangkaian percobaan seperti pada gambar diatas.
2. Memasang spesimen untuk dilakukan percobaan. Memcatat potensial rangkaian pada saat arus sama dengan nol. Potensial tersebut sebagai potensial korosi (E_{kor}) setelah ditunggu 55menit.

3. Potensialnya dinaikkan sebesar 50mV dari nilai potensial korosi (E_{kor}) dan ditunggu beberapa saat yaitu 5 menit kemudian dilihat dan dicatat arus yang lewat di amperemeter. Demikian seterusnya sampai potensial mencapai +750mV dari nilai potensial korosi (E_{kor}).
4. Kemudian pada potentiostat diatur pada kondisi potensial korosi (E_{kor}), lalu diturunkan sebesar 50mV dari nilai potensial korosi (E_{kor}) dan ditunggu beberapa saat yaitu 5 menit kemudian dilihat dan dicatat arus yang lewat di amperemeter. Demikian seterusnya hingga pada voltmeter menunjukkan angka - 750 mV dari nilai potensial korosi (E_{kor}).
5. Hal ini dilakukan bergantian untuk setiap spesimen yang lain. Untuk setiap jenis pengelasan elektroda dilakukan tiga kali percobaan untuk setiap tiga jenis konsentrasi larutan dan luasan permukaan spesimen. Sehingga terdapat 30 percobaan / spesimen.

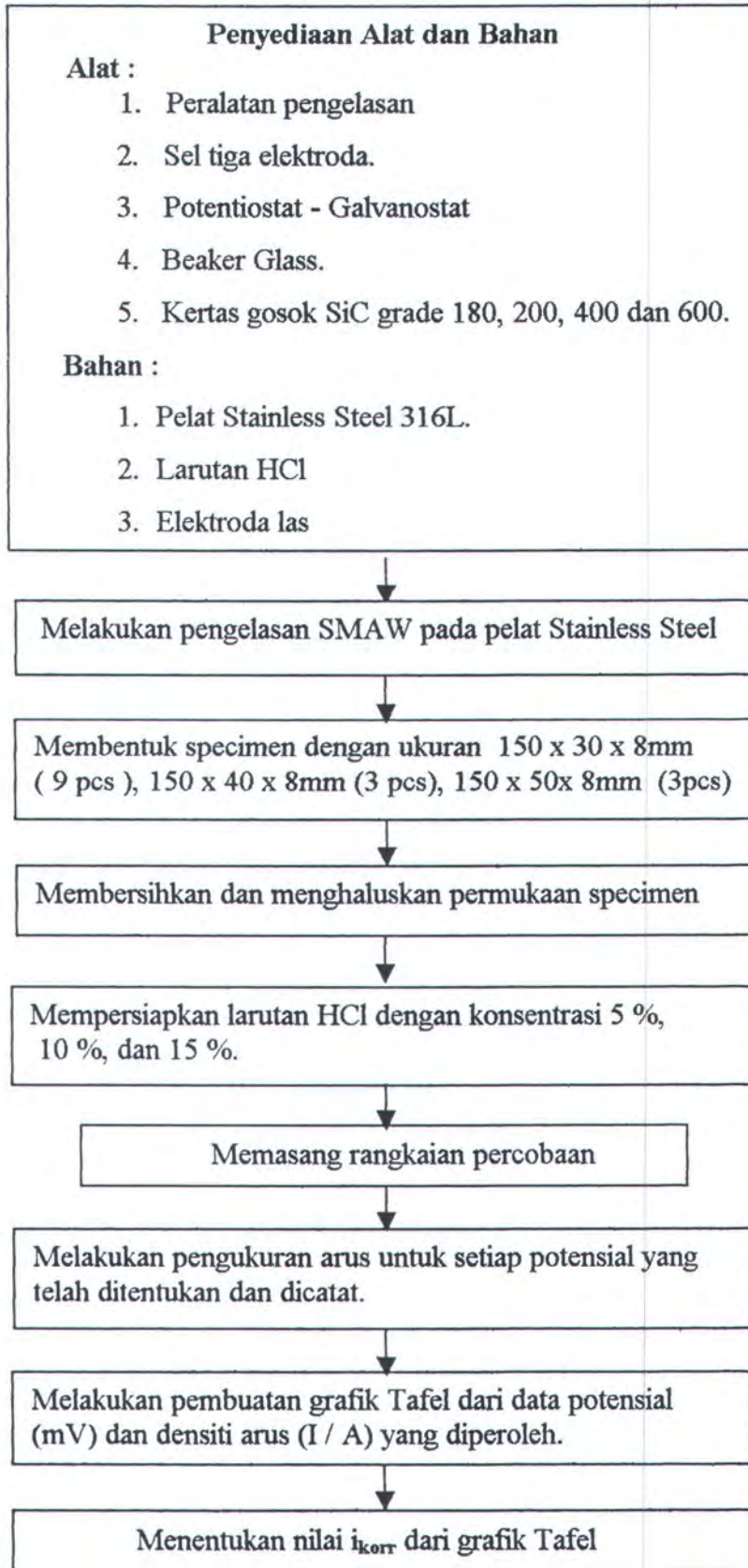
4. Pembuatan Grafik dan Perhitungan Laju Korosi

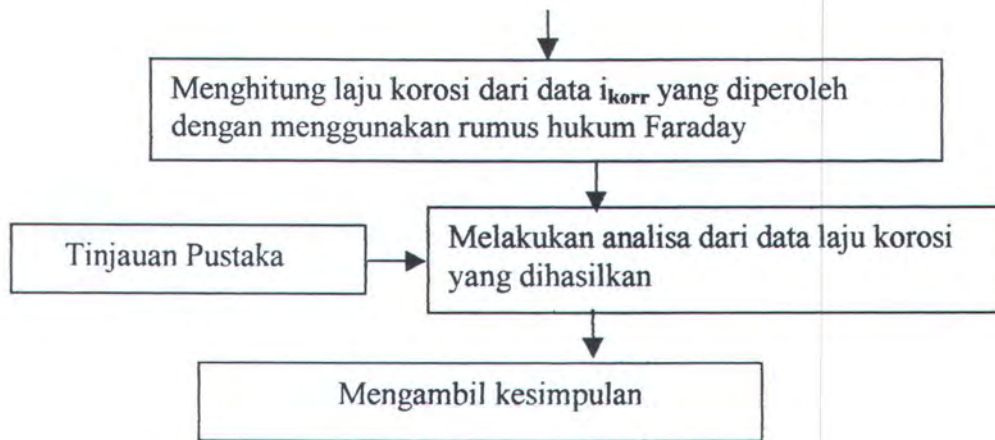
Dari data arus yang diperoleh untuk potensial yang telah ditentukan dibuat grafik polarisasi (grafik Tafel) dengan urutan sebagai berikut :

1. Dibuat tabel nilai dari polarisasi (potensial mV) dan arus yang timbul i_a dan i_c .
2. Membagi arus dengan luas permukaan (i / A). Kemudian dilogaritmakan.

3. Membuat grafik hubungan antara logaritma i/A dengan polarisasi (mV).
4. Menentukan nilai i_{kor} dari grafik tersebut seperti cara pengeplotan Tafel ideal (KR.Trethewey dan J. Chamberlain, 1991).
5. Menghitung laju korosi setiap spesimen dari data i_{kor} yang diperoleh dengan menggunakan rumus hukum Faraday.
6. Melakukan analisa dari data – data laju korosi yang diperoleh.

Bagan Alur Proses Percobaan





Gambar III. 3 Bagan alur proses percobaan.

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Dalam tugas akhir ini, kami membuat analisa korosi dengan melihat laju korosi pada pelat stainless steel dalam larutan pengkorosif HCl. Karena kebutuhan yang besar untuk larutan HCl pada industri – industri pada kimia dan pabrik petrokimia, seperti untuk memproduksi gas, oil, pulp dan kertas, dan cairan pembersih porselin. Sehingga membutuhkan alat transportasi berkapasitas besar, seperti kapal tanker pengangkut bahan kimia. Asam klorida merupakan asam yang sangat agresif, hal ini disebabkan oleh ion klorida pada asam tersebut. Dimana pada tangki – tangki kapal tanker tersebut, untuk mengatasi korosi digunakan pelat stainless steel.

Pelat stainless steel 316L yang digunakan pada tangki – tangki kapal tanker tersebut dilas dengan menggunakan elektroda yang mengandung Mn (Manganese) dalam hal kekuatan dan ductility weld metal lebih baik performance-nya dari pengelasan dengan menggunakan elektroda yang mengandung Cr (Chromium). Tetapi bagaimana kemampuan hasil las kedua jenis elektroda tersebut ketahanannya terhadap korosi. Hal inilah yang merupakan variabel utama, dimana akan dilakukan analisa data dari percobaan pada pengelasan stainless steel 316L dengan menggunakan kedua jenis elektroda tersebut terhadap laju korosi dalam media pengkorosif asam klorida (HCl).

Karena laju korosi suatu logam adalah merupakan laju korosi reaksi kimia terhadap lingkungan dan laju reaksi sangat dipengaruhi oleh banyak faktor maka perhitungan laju korosi stainless steel ini juga melihat hal tersebut yang antara lain

konsentrasi larutan dan luas permukaan, yang akan dibahas satu persatu pengaruhnya.

IV.1 PERHITUNGAN LAJU KOROSI

Setelah dilakukan percobaan untuk menghitung arus yang melewati elektroda kerja dan elektroda acuan yang merupakan harga yang sebanding dengan jumlah elektron yang mengalir diantara kedua elektron tersebut. Dengan cara metoda elektrokimia teknik polarisasi seperti yang dijelaskan diatas, maka hasil pengukuran didapatkan i_0 yang karena dalam proses merupakan jumlah kerapatan arus pertukaran arus anoda dan katoda yang melewati elektroda maka didapatkan i_{kor} . Dan i_{kor} selanjutnya digunakan dalam perhitungan laju korosi.

Pada hukum Faraday laju korosi (mpy) adalah : $K \frac{ai}{nD}$

- 'Corrosion Engineering, 3rd edition', Mars G.Fontana, McGraw – Hill, 1986.

dimana : D = Densitas (gr/cm³)

K = Konstanta (0,129 dalam mpy)

a = Berat atom

n = Jumlah elektron yang bereaksi (valensi)

i = rapat arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$) [konversi 1 mpy = 0,0254 mm/yr]

Sebagai contoh, untuk korosi besi pada larutan asam berudara bebas laju korosi elektrokimianya memiliki kerapatan arus 1 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$. Yang melarutkan ion – ion besi (Fe^{2+}), dan nilai n = 2. Maka laju korosi dalam mpy diperoleh dengan mensubsitusikan ke persamaan :

$$\text{Laju korosi} = 0,129 \times \frac{(55,8)(1)}{(2)(7.86)} = 4,46 \text{ mpy} \text{ atau } 0,113 \text{ mmpy}$$

Dari perhitungan – perhitungan laju korosi dimana i_{kor} diperoleh dari grafik Tafel (pada lampiran), dan densiti untuk weld metal kandungan mangan tinggi 7,916455 gr/cm³ dan untuk chromium 7,971815 gr/ cm³ dimana nilai $n = 3$ untuk mangan dan chromium, sedangkan berat atom mangan dan chromium adalah 54,938 dan 51,996 ,maka hasilnya ditabulasikan agar lebih jelas seperti berikut :

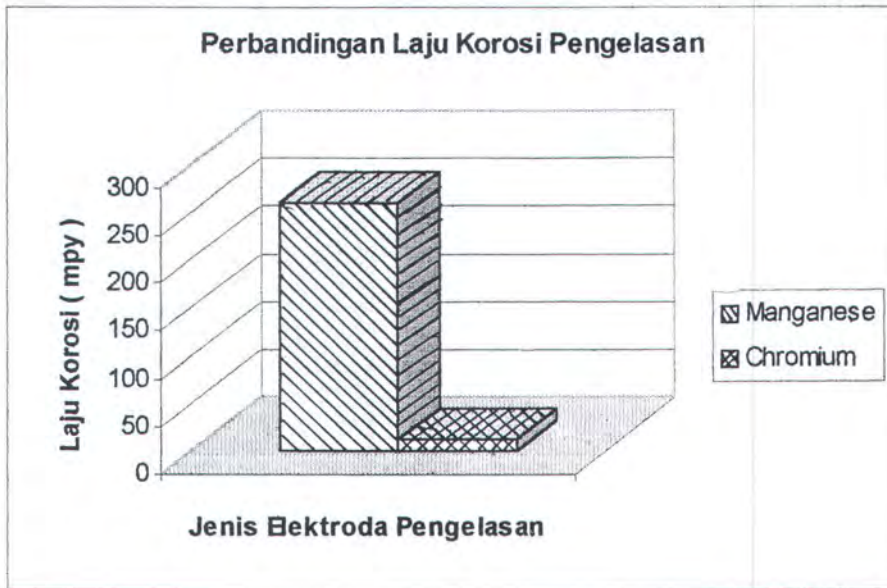
Tabel IV.1 Hasil Perhitungan Laju Korosi

Percobaan ke	Macam variabel	i_{kor} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Laju korosi	Laju korosi Rata – rata (mpy)
Elektroda kandungan Mangan (Mn) tinggi				
1	Konsentrasi Larutan	2,43	80,8799	81,6333
2	HCl 5%	2,44	83,1401	
3		2,43	80,8799	
1	Konsentrasi Larutan	2,94	259,9015	259,1076
2	HCl 10%	2,94	259,9015	
3		2,93	257,5197	
1	Konsentrasi Larutan	3,03	319,7500	319,8065
2	HCl 15%	3,04	327,1979	
3		3,02	312,4716	
1	Luas Permukaan	2,94	259,9015	259,1076
2	118,80 cm²	2,94	259,9015	
3	Pada Konsentrasi 10 %	2,93	257,5197	
1	Luas Permukaan	2,97	275,3027	271,5384
2	150,40 cm²	2,96	269,6563	
3	Pada Konsentrasi 10 %	2,96	269,6563	
1	Luas Permukaan	2,99	291,6155	290,5028
2	182,0 cm²	2,99	291,6155	
3	Pada Konsentrasi 10 %	2,98	288,2774	

Elektroda kandungan Chromium (Cr) tinggi				
1	Konsentrasi Larutan	1,21	4,8060	4,5061
2	HCl 5%	1,23	5,1497	
3		1,08	3,5627	
1	Konsentrasi Larutan	1,66	13,5452	13,6552
2	HCl 10%	1,68	14,1835	
3		1,65	13,2368	
1	Konsentrasi Larutan	1,81	19,1330	19,5822
2	HCl 15%	1,82	19,5787	
3		1,83	20,0348	
1	Luas Permukaan	1,66	13,5452	13,6552
2	118,80 cm ²	1,68	14,1835	
3	Pada Konsentrasi 10 %	1,65	13,2368	
1	Luas Permukaan	1,72	15,5519	15,6894
2	150,40 cm ²	1,70	14,8520	
3	Pada Konsentrasi 10 %	1,75	16,6642	
1	Luas Permukaan	1,78	17,8560	17,7267
2	182,0 cm ²	1,76	17,0523	
3	Pada Konsentrasi 10 %	1,79	18,2718	

IV.2 ANALISA VARIABEL ELEKTRODA PENGELASAN

Pada percobaan test Tafel polarisasi yang dilakukan untuk menghitung laju korosi pada pengelasan dengan menggunakan elektroda yang mengandung manganese dan yang mengandung chromium, hasil perbandingannya dapat kita lihat pada grafik IV.1 dibawah ini untuk konsentrasi larutan HCl 10% pada luasan 118,80 cm².



Gambar IV.1 Perbandingan Laju Korosi pada pengelasan elektroda kandungan Manganese dan Chromium.

Dari grafik tersebut kita dapat melihat bahwa laju korosi pada pengelasan dengan elektroda yang mengandung manganese lebih tinggi daripada elektroda yang mengandung chromium dimana pada pengelasan dengan manganese diperoleh sebesar **259,1076 mpy** sedangkan pada chromium diperoleh sebesar **13,6552 mpy**. Dimana laju korosi yang ditunjukkan oleh pengelasan dengan elektroda yang mengandung chromium malah dapat diabaikan bila dibandingkan dengan elektroda yang mengandung manganese.

Bila kita bandingkan hasil laju korosi pengelasan dengan elektroda kandungan mangan tinggi pada tabel IV.3 dengan laju korosi relatif pada tabel IV.2 dibawah ini, terlihat bahwa laju korosi pada pengelasan dengan elektroda yang mengandung manganese tersebut tinggi dan melebihi level yang diijinkan.

Tabel IV.2 Laju Korosi Relatif Dengan Konversi Pada Satuan Matrik.

Approximate metric equivalent					
Relative corrosion resistance*	Mpy	$\frac{\text{mm}}{\text{yr}}$	$\frac{\mu\text{m}}{\text{yr}}$	$\frac{\text{nm}}{\text{hr}}$	$\frac{\text{pm}}{\text{sec}}$
Outstanding	< 1	< 0,02	< 25	< 2	< 1
Excellent	1 – 5	0,02 – 0,1	25 – 100	2 – 10	1 – 5
Good	5 – 20	0,1 – 0,5	100 – 500	10 – 50	5 – 20
Fair	20 – 50	0,5 – 1	500 – 1000	50 – 150	20 – 50
Poor	50 – 200	1 – 5	1000 – 5000	150 – 500	50 – 200
Unacceptable	200 +	5 +	5000 +	500 +	200 +

- Based on typical ferrous and nickel based alloys. For more expensive alloys, rates greater than 5 to 20 mpy are usually excessive. Rates above 200 mpy are sometimes acceptable for cheap materials with thick cross sections (e.g. cast iron pump body).
- 'Corrosion Engineering, 3rd edition', Mars G.Fontana, McGraw – Hill, 1986.

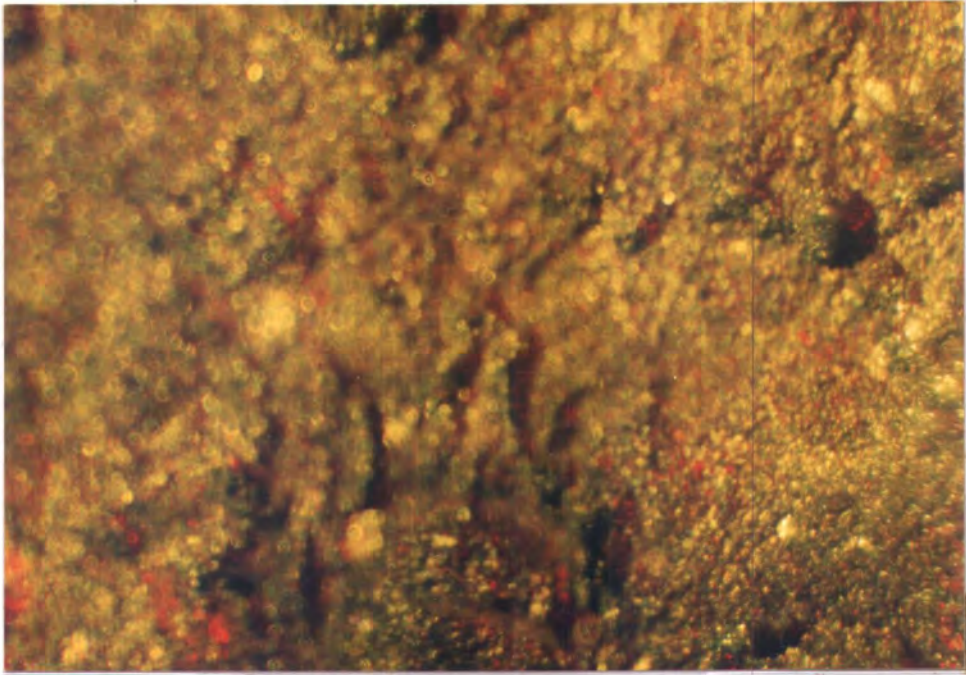
Oleh karena itu, pengelasan dengan elektroda yang mengandung manganese tersebut tidak cocok pada larutan asam klorida untuk menghadapi lingkungan korosi tersebut. Dan juga yang telah disebutkan sebelumnya, sifat – sifat logam mangan cenderung bereaksi dengan lingkungan yang asam.

Tabel IV.3 Laju Korosi Pengelasan Dengan Elektroda Kandungan Mangan Tinggi.

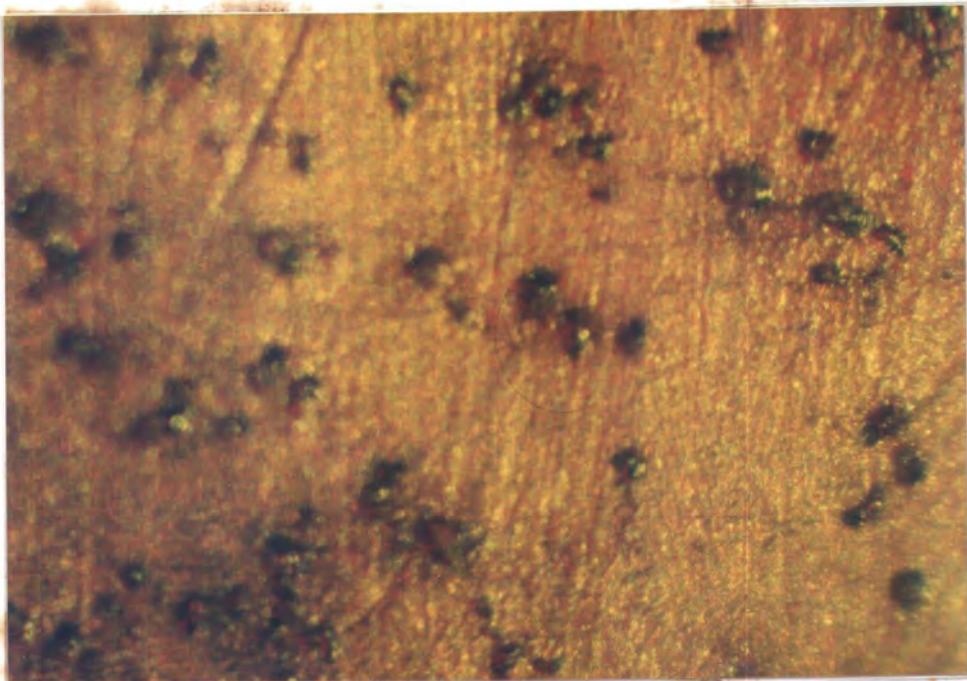
	Konsentrasi Larutan HCl (%)		
	Kons. 5 %	Kons. 10 %	Kons 15 %
Laju Korosi (mpy)	81,6333	259,1076	319,8065

Korosi yang menyerang pada pengelasan dengan elektroda yang mengandung manganese adalah korosi homogen (uniform attack). Yang merupakan type korosi pada umumnya. Sebuah abu – abu gelap film yang menjangkau semua permukaan dari weld metal, menunjukkan korosi yang terjadi secara merata. Sedangkan korosi yang menyerang pada pengelasan dengan elektroda yang mengandung chromium merupakan type korosi sumuran (pitting corrosion). Dimana korosi sumuran ini menyerang permukaan weld metal yang mempunyai tonjolan pada permukaannya yang kasar dan pada lapisan film pelindung yang tergores. Korosi sumuran ini umumnya terjadi pada logam yang mengandalkan lapisan film bersifat pasif sebagai pertahanannya terhadap korosi. Hal ini terjadi pada base metal stainless steel dan weld metal pengelasan dengan elektroda kandungan chromium tinggi. Pasivasi yang terjadi berupa produk korosi dalam bentuk film. Yaitu unsur paduan chromium dan nikel dipermukaan logam yang mudah sekali membentuk lapisan oksida sebagai pelindung terhadap korosi.

Walaupun korosi yang menyerang pada pengelasan dengan elektroda yang mengandung chromium merupakan type korosi sumuran (pitting corrosion) yang lebih sering menyebabkan tidak kedapnya hasil las – lasan bila dibandingkan dengan korosi homogen (uniform attack) yang menyerang pada pengelasan dengan elektroda yang mengandung manganese. Tetapi melihat laju korosi pada pengelasan dengan elektroda yang mengandung chromium kecil atau masih dalam ambang batas baik maka pengelasan dengan elektroda yang mengandung chromium masih lebih baik dibandingkan dengan pada pengelasan dengan elektroda yang mengandung manganese pada kondisi lingkungan asam klorida.



Gambar IV.2 Korosi sumuran pada pengelasan dengan elektroda kandungan chromium tinggi.



Gambar IV.3 Korosi seragam pada pengelasan dengan elektroda kandungan mangan tinggi.

Serangan korosi yang intensitasnya lebih besar untuk pengelasan dengan elektroda yang mengandung manganese dibandingkan dengan elektroda yang mengandung chromium. Dapat juga dikarenakan akibat dari aksi korosi galvanis. Yang terjadi ketika dua buah logam yang berbeda dengan kecenderungan korosi yang berbeda digabungkan atau dilas dalam suatu elektrolit. Pada korosi galvanik, logam dengan kecenderungan korosi yang lebih tinggi (untuk potensial yang lebih aktif / rendah) kerusakannya lebih besar pada saat ia digandengan / dicouple ke sebuah logam yang memiliki kecenderungan korosinya lebih rendah (untuk potensial yang lebih pasif / tinggi) dibandingkan dengan pada saat tidak digabungkan / dicouple. Maka logam dengan kecenderungan korosi yang lebih rendah mengalami kerusakan lebih sedikit ketika dicouple dengan logam yang memiliki kecenderungan korosi yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan ketika ia tidak digabungkan. Sehingga jelaslah pengelasan pada elektroda yang mengandung manganese dimana memiliki potensial korosi (E_{kor}) yang lebih tinggi (lebih aktif) dengan kecenderungan korosi yang lebih besar, dibandingkan dengan pada elektroda yang mengandung chromium yang hampir sama dengan logam induknya .

IV.3 ANALISA PENGARUH KONSENTRASI

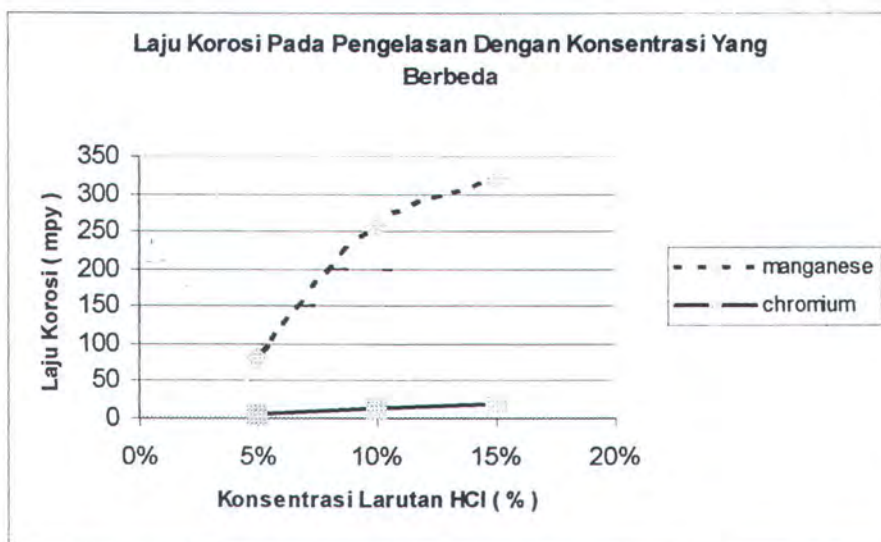
Laju korosi suatu logam yang dimasukkan ke dalam larutan elektrolit merupakan juga suatu reaksi elektrokimia yang dikendalikan oleh difusi pada elektrolit sehingga dapat dianggap juga sebagai laju reaksi kimia. Laju reaksi sendiri dapat diartikan sebagai perubahan per unit dalam waktu dari konsentrasi reaktan maupun hasil reaksi. Jika ini dilakukan dalam temperatur yang tetap

dengan volumenya yang tidak berubah, perubahan dari suatu konsentrasi ion tersebut dapat merupakan perbandingan terbalik antara perubahan konsentrasi terhadap perubahan waktu. (W.L. Masterton,1967)

$$\text{Laju reaksi} = - \frac{\text{perubahan konsentrasi}}{\text{jarak waktu}}$$

Banyak material logam yang menunjukkan sifat pasif tetapi sifat tersebut menjadi dapat diabaikan seiring oleh pengaruh perubahan besar pada konsentrasi pengkorosifnya. Sebagaimana konsentrasi larutan pengkorosif ditingkatkan, laju korosi meningkat juga.

Dari analisa data hasil percobaan juga membuktikan bahwa semakin besar konsentrasi larutan HCl, semakin besar pula laju korosinya. Baik itu pada pengelasan dengan elektroda yang mengandung manganese dan yang mengandung chromium. Hal ini dapat kita lihat pada grafik IV.2 dengan laju korosi pada tabel IV.1 pada luasan spesimen 118,80 cm².

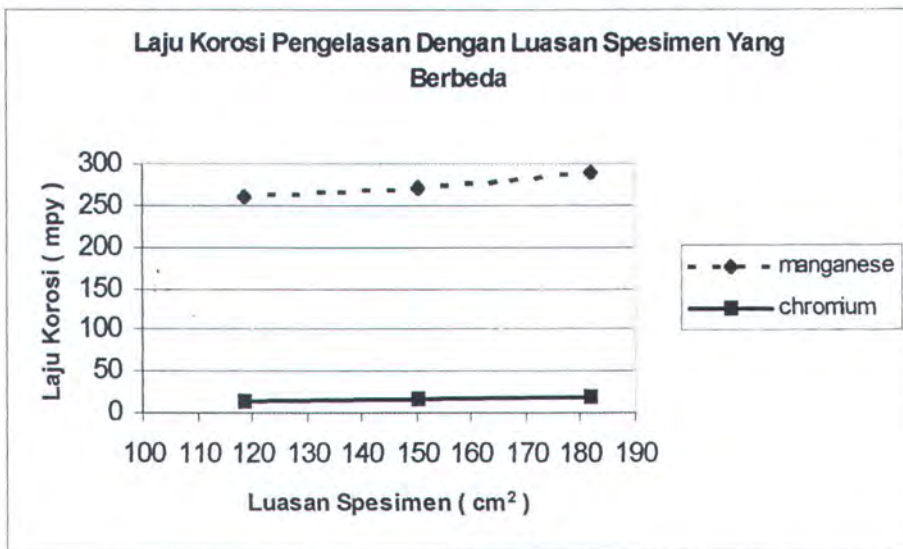


Gambar IV. 4 Laju Korosi pada pengelasan dengan elektroda yang mengandung manganese dan elektroda yang mengandung chromium dengan konsentrasi yang berbeda pada suhu 29⁰ C.

Dari grafik tersebut dapat kita lihat bahwa hubungan peningkatan konsentrasi dengan laju korosi membentuk kurva linier derajat dua. Dimana dengan peningkatan konsentrasi sebesar 5% terjadi peningkatan laju korosi yang tinggi, terutama pada perubahan konsentrasi dari 5 % menjadi 10 %. Hal ini terjadi pada kedua jenis elektroda pengelasan. Tetapi laju korosi pada pengelasan dengan elektroda yang mengandung manganese tetap lebih tinggi dari elektroda yang mengandung chromium.

IV.4 ANALISA PENGARUH LUASAN SPESIMEN

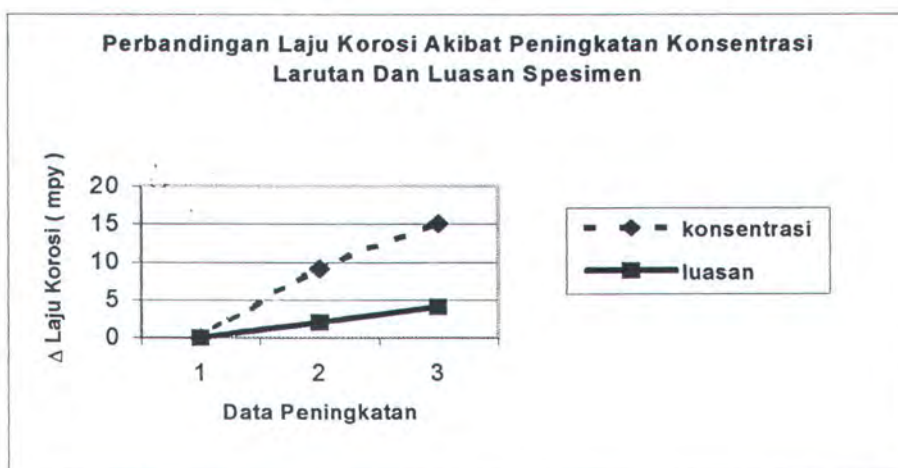
Dalam percobaan juga dilakukan percobaan untuk luasan permukaan spesimen yang berbeda – beda dan dari hasil percobaan nilai i_{kor} untuk konsentrasi larutan HCl 10% seperti tampak pada grafik IV.3 dibawah ini yang merupakan hasil perhitungan laju korosi dari tabel IV.1 diatas.



Gambar IV. 5 Laju korosi pada pengelasan dengan elektroda yang mengandung manganese dan elektroda yang mengandung chromium dengan luasan spesimen yang berbeda pada suhu 29⁰ C.

Hasil laju korosi yang diperoleh tersebut terjadi pada kedua jenis pengelasan. Baik dengan elektroda yang mengandung manganese maupun yang mengandung chromium. Tetapi perubahan laju korosi akibat penambahan luasan spesimen tidak terlalu besar. Hal ini dapat dilihat juga dari bentuk grafik yang dihasilkan diatas (grafik IV.3). Dimana grafik tersebut mendekati garis yang linier dengan slope yang kecil. Sehingga perhitungan laju korosi yaitu perhitungan pengurangan dari ketebalan material, tidak terlalu besar dipengaruhi oleh luasan permukaan spesimen.

Dan bila kita bandingkan antara pengaruh peningkatan konsentrasi larutan HCl dengan peningkatan luasan spesimen terhadap laju korosi pengelasan dengan elektroda yang mengandung manganese maupun yang mengandung chromium, ternyata peningkatan konsentrasi larutan lebih mempengaruhi naiknya laju korosi yang terjadi. Hal ini dapat kita lihat pada grafik IV.4 dibawah ini yang merupakan hasil perhitungan laju korosi dari tabel IV.1 diatas untuk pengelasan dengan elektroda yang mengandung chromium tinggi.



Gambar IV. 6 Perbandingan laju korosi antara peningkatan konsentrasi larutan dengan peningkatan luasan spesimen.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 KESIMPULAN

Berdasarkan data dari hasil percobaan yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada konsentrasi larutan HCl 10% dengan luasan spesimen $118,80 \text{ cm}^2$ laju korosi pada pengelasan dengan elektroda yang mengandung manganese lebih tinggi daripada elektroda yang mengandung chromium. Dimana pada pengelasan dengan manganese diperoleh sebesar **259,1076 mpy** sedangkan pada chromium diperoleh sebesar **13,6552 mpy**. Sehingga laju korosi yang ditunjukkan oleh pengelasan dengan elektroda yang mengandung chromium malah dapat diabaikan bila dibandingkan dengan elektroda yang mengandung manganese. Hal ini juga menunjukkan bahwa pengelasan dengan elektroda yang mengandung manganese tinggi tidak cocok pada larutan asam klorida untuk menghadapi lingkungan korosi tersebut.
2. Dari perbandingan hasil percobaan antara pengaruh peningkatan konsentrasi larutan HCl dengan peningkatan luasan spesimen terhadap laju korosi, untuk pengelasan dengan elektroda yang mengandung manganese maupun yang mengandung chromium tinggi, ternyata peningkatan konsentrasi larutan lebih mempengaruhi naiknya laju korosi yang terjadi. Sehingga kita perlu lebih memperhatikan penanganan terjadinya korosi akibat peningkatan konsentrasi untuk bahan – bahan kimia yang reaktif seperti HCl.

V.2 SARAN

Untuk memperbaiki dan mendapatkan hasil yang lebih memuaskan pada penelitian selanjutnya, saran yang dapat kami berikan adalah sebagai berikut :

1. Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan variabel tegangan polarisasi yang lebih banyak sehingga dapat diketahui laju korosi pada tegangan mana yang optimum.
2. Menambah variabel selain yang tertera dalam laporan ini, seperti : menambah variabel suhu larutan guna menentukan variabel yang paling berpengaruh terhadap laju korosi pengelasan tersebut.
3. Perlunya dilakukan penelitian untuk mengetahui komposisi kandungan mangan dan chromium yang optimal dalam satu elektroda sehingga diperoleh suatu hasil las – lasan selain kekuatan dan ductility baik juga memiliki ketahanan korosi yang baik juga.

DAFTAR PUSTAKA

1. D.K.Aidun, K.M.Makhamreh, D.J.Morrison and J.Olszewki, *An Evaluation of Weldments Joined by Fe-Mn-Al and Fe-Cr-Ni Consumables*, Welding Journal, pp: 61 – 65, The American Welding Society, March 1994.
2. Kenneth R. Trethewey, John Chamberlain, *Corrosion for Student of Science and Engineering* , alih bahasa oleh Alex Tri Kantjono Widodo, *Korosi Untuk Mahasiswa Dan Rekayasawan*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1991.
3. Uhlig, Herbert Henry and Revie, R. Winston, *Corrosion and Corrosion Control* 3th edition, John Wiley & Sons, Inc, United States of America, 1985.
4. Charles L. Mantell, editor – in – chief, *Engineering Materials Hand Book* 1st edition, Mc Graw Hill Book, Co, Toronto, 1955.
5. Fontana, M.G, *Corrosion Engineering* 3th edition, Mc Graw Hill Book Co. Singapore, 1986.
6. L.L. Shreir, PhD, R.A. Jarman,M.Sc,PhD, G.T. Burstein,M.Sc,PhD, *Corrosion vol : 1 ‘ Metal / Environment Reactions’* 3th edition, Butterworth – Heinemann Ltd, London, 1994.
7. L.L. Shreir, PhD, R.A. Jarman,M.Sc,PhD, G.T. Burstein,M.Sc,PhD, *Corrosion vol : 2 ‘ Corrosion Control’* 3th edition, Butterworth – Heinemann Ltd, London, 1994.
8. Wiryosumarto, H. Okumura T, *Teknologi Pengelasan Logam*, Pradnya Paramitha , Jakarta , 1994.
9. Pecker, Donal and Bernstein, Irving Melvin, *Hand Book of Stainless Steel*, Mc Graw Hill Book, Co, Toronto, 1977.

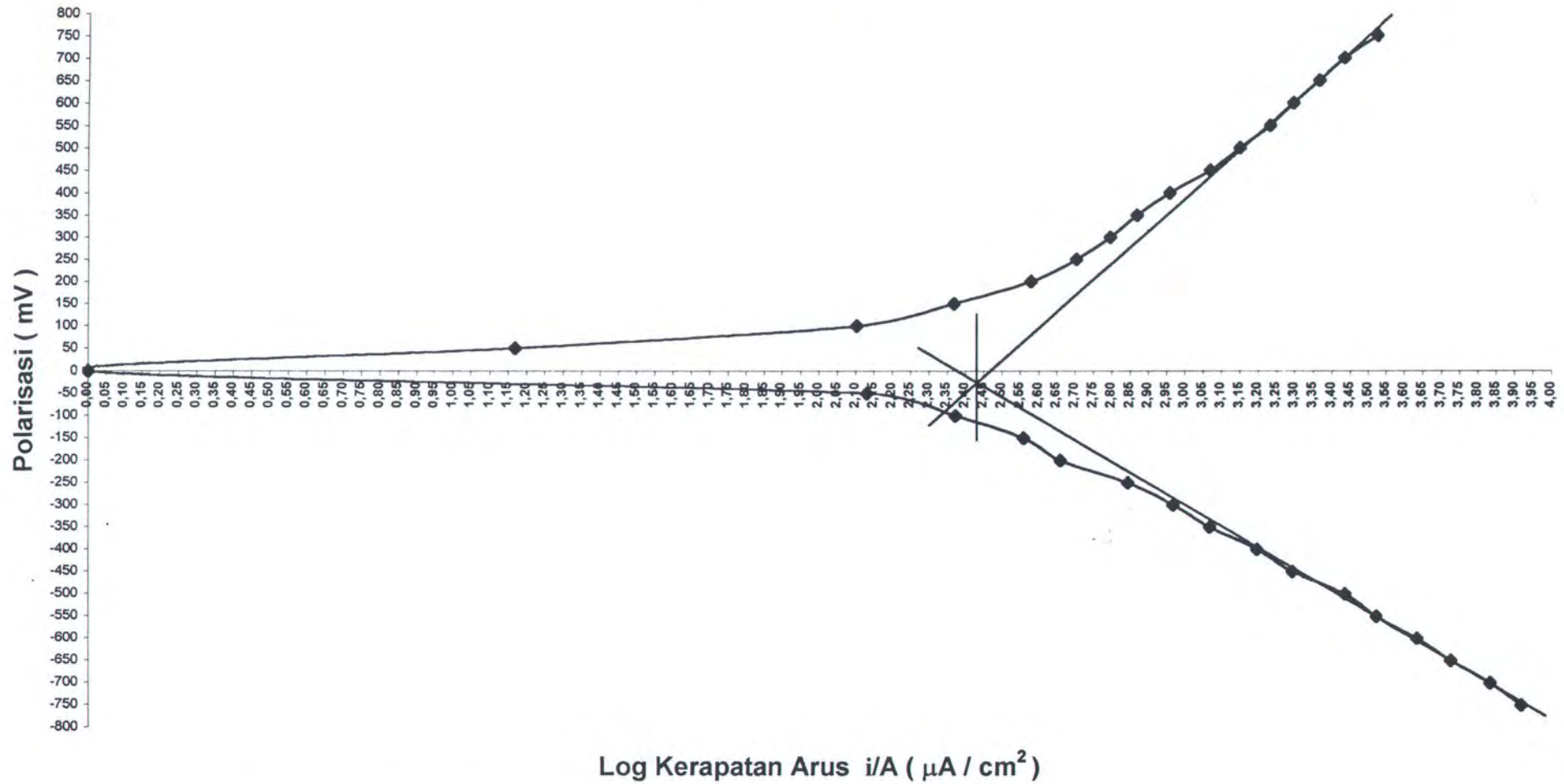
10. Sedriks, A. John, *Corrosion of Stainless Steel* , John Wiley & Sons, Inc, Canada, 1979.
11. Oliver and Boyd, *Manganese Steel*, Edinburg, Tweeddale Court, Canada, 1976.
12. Annual Book of ASTM Standard, Section 3, Metal Test Methods and Analytical Procedures, vol 03.02, *Wear and Erosion ; Metal Corrosion*, Philadelphia, USA, 1994.
13. W.L. Masterton, *Chemical Principles*, WB Saunders Company, New York, 1967.

Data Hasil Percobaan

Lampiran 1 Data Percobaan Polarisasi Untuk Pengelasan Dengan Elektroda Kandungan Mangan Tinggi Pada Konsentrasi Larutan HCl 5% Dengan Luasan Spesimen 118,80 cm²

V (mV)	Data Percobaan I		i / A ($\mu\text{A} / \text{cm}^2$)	Log (i / A)
	i (mA)	i (μA)		
-750	962.00	962000.000	8097.6431	3.908359
-700	805.00	805000.000	6776.0943	3.830979
-650	630.00	630000.000	5303.0303	3.724524
-600	514.00	514000.000	4326.5993	3.636147
-550	396.00	396000.000	3333.3333	3.522879
-500	323.00	323000.000	2718.8552	3.434386
-450	233.00	233000.000	1961.2795	3.292539
-400	186.58	186578.947	1570.5299	3.196046
-350	138.70	138695.652	1167.4718	3.067246
-300	110.21	110208.333	927.6796	2.967398
-250	82.69	82692.308	696.0632	2.842649
-200	54.17	54166.667	455.9484	2.658916
-150	42.88	42884.615	360.9816	2.557485
-100	28.01	28013.937	235.8076	2.372558
-50	16.06	16055.556	135.1478	2.130809
0	0.00	0.00	0.00	0.00
50	1.75	1750.000	14.7306	1.168222
100	15.06	15062.500	126.7887	2.103081
150	27.75	27750.000	233.5859	2.368447
200	45.03	45034.483	379.0781	2.578729
250	60.00	60000.000	505.0505	2.703335
300	74.06	74062.500	623.4217	2.794782
350	87.81	87812.500	739.1625	2.868740
400	107.67	107666.667	906.2851	2.957265
450	138.85	138846.154	1168.7387	3.067717
500	167.50	167500.000	1409.9327	3.149198
550	202.00	202000.000	1700.3367	3.230535
600	234.00	234000.000	1969.6970	3.294399
650	275.00	275000.000	2314.8148	3.364516
700	321.00	321000.000	2702.0202	3.431689
750	401.00	401000.000	3375.4209	3.528328

Gambar 1 Polarisasi Pada Pengelasan Elektroda Kandungan Mangan Tinggi Dengan Konsentrasi Larutan HCl 5%

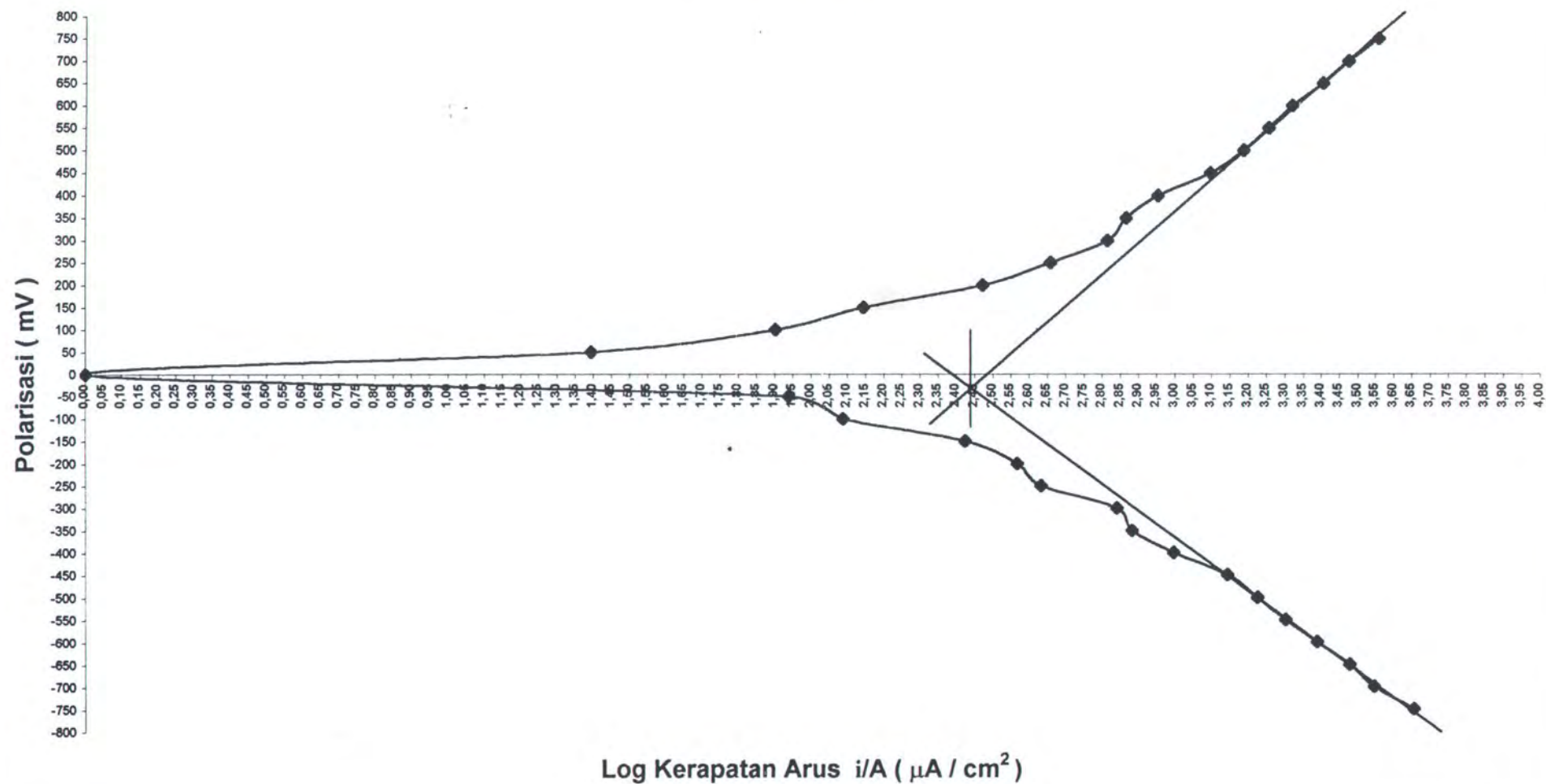


Data Hasil Percobaan

Lampiran 2 Data Percobaan Polarisasi Untuk Pengelasan Dengan Elektroda Kandungan Mangan Tinggi Pada Konsentrasi Larutan HCl 5% Dengan Luasan Spesimen 118,80 cm²

V (mV)	Data Percobaan II		i / A (μ A / cm ²)	Log (i / A)
	i (mA)	i (μ A)		
-750	559.00	559000.000	4705.3872	3.672595
-700	415.00	415000.000	3493.2660	3.543232
-650	355.00	355000.000	2988.2155	3.475412
-600	289.00	289000.000	2432.6599	3.386081
-550	237.00	237000.000	1994.9495	3.299932
-500	199.00	199000.000	1675.0842	3.224037
-450	164.80	164800.000	1387.2054	3.142141
-400	117.44	117440.000	988.5522	2.995000
-350	90.32	90317.460	760.2480	2.880955
-300	82.09	82086.957	690.9676	2.839458
-250	50.81	50814.815	427.7341	2.631174
-200	43.80	43800.000	368.6869	2.566658
-150	31.53	31527.778	265.3853	2.423877
-100	14.53	14528.571	122.2944	2.087406
-50	10.30	10300.000	86.7003	1.938021
0	0.00	0.00	0.00	0.00
50	2.94	2940.625	24.7527	1.393623
100	9.47	9473.684	79.7448	1.901702
150	16.56	16555.556	139.3565	2.144127
200	35.21	35208.333	296.3664	2.471829
250	54.11	54105.263	455.4315	2.658423
300	77.34	77342.657	651.0325	2.813603
350	87.08	87080.000	732.9966	2.865102
400	106.80	106800.000	898.9899	2.953755
450	148.14	148140.000	1246.9697	3.095856
500	182.60	182600.000	1537.0370	3.186684
550	214.00	214000.000	1801.3468	3.255597
600	248.00	248000.000	2087.5421	3.319635
650	296.00	296000.000	2491.5825	3.396475
700	354.00	354000.000	2979.7980	3.474187
750	437.00	437000.000	3678.4512	3.565665

Gambar 2 Polarisasi Pada Pengelasan Elektroda Kandungan Mangan Tinggi Dengan Konsentrasi Larutan HCl 5%

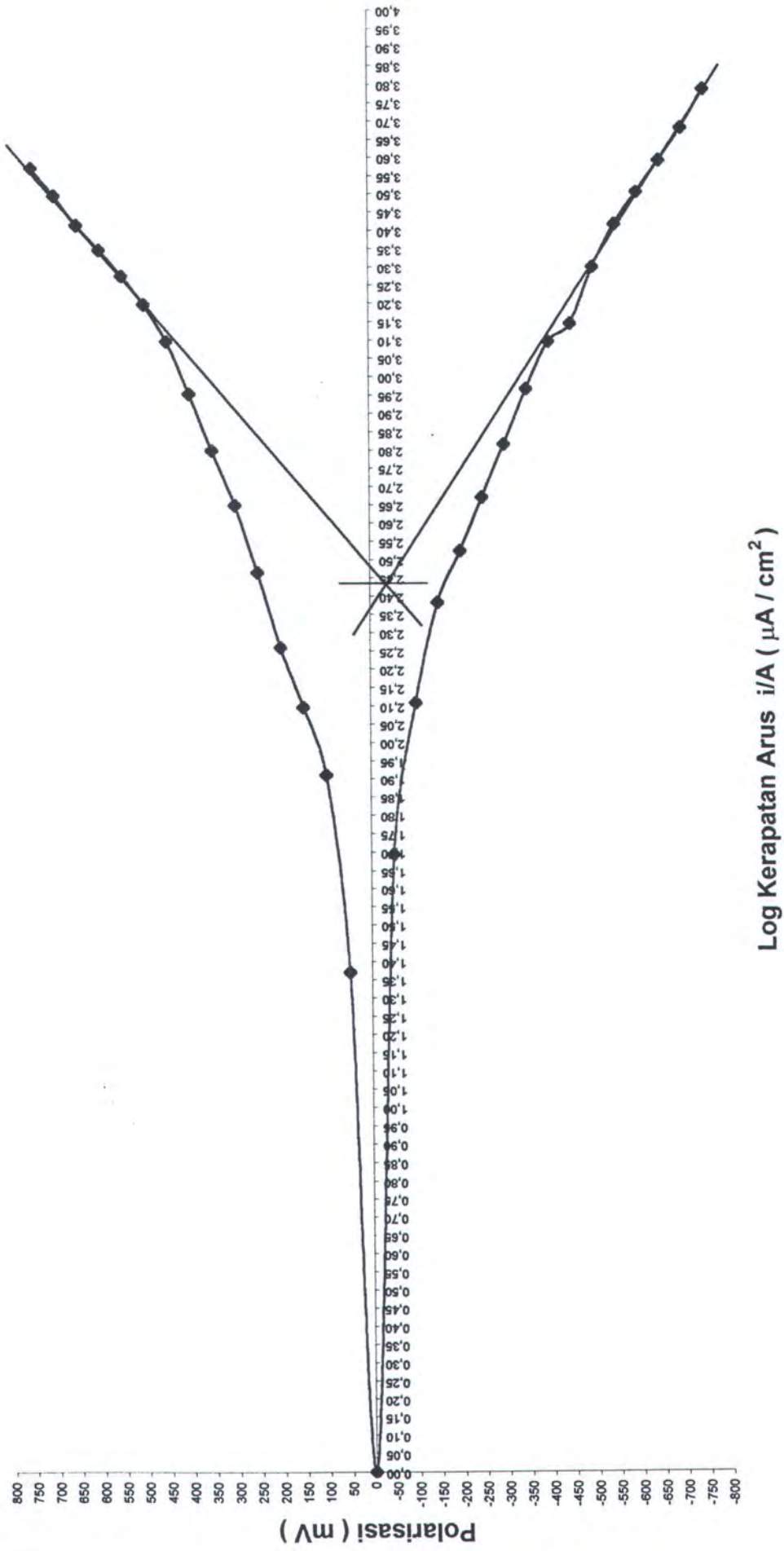


Data Hasil Percobaan

Lampiran 3 Data Percobaan Polarisasi Untuk Pengelasan Dengan Elektroda Kandungan Mangan Tinggi Pada Konsentrasi Larutan HCl 5% Dengan Luasan Spesimen 118,80 cm²

V (mV)	Data Percobaan III		i / A ($\mu\text{A} / \text{cm}^2$)	Log (i / A)
	i (mA)	i (μA)		
-750	650.00	650000.00	5471.3805	3.738097
-700	561.00	561000.00	4722.2222	3.674146
-650	458.00	458000.00	3855.2189	3.586049
-600	375.00	375000.00	3156.5657	3.499215
-550	307.00	307000.00	2584.1751	3.412322
-500	235.00	235000.00	1978.1145	3.296251
-450	164.80	164800.00	1387.2054	3.142141
-400	146.80	146800.00	1235.6902	3.091910
-350	109.48	109480.00	921.5488	2.964518
-300	77.42	77420.00	651.6835	2.814037
-250	55.40	55397.73	466.3108	2.668676
-200	39.61	39611.11	333.4269	2.523001
-150	28.60	28600.00	240.7407	2.381550
-100	15.23	15227.27	128.1757	2.107806
-50	5.86	5864.00	49.3603	1.693378
0	0.00	0.00	0.00	0.00
50	2.78	2782.86	23.4247	1.369674
100	9.67	9666.67	81.3692	1.910460
150	14.82	14822.22	124.7662	2.096097
200	21.60	21600.00	181.8182	2.259637
250	34.63	34628.57	291.4863	2.464618
300	52.80	52800.00	444.4444	2.647817
350	74.64	74640.00	628.2828	2.798155
400	106.80	106800.00	898.9899	2.953755
450	148.14	148140.00	1246.9697	3.095856
500	187.17	187165.00	1575.4630	3.197408
550	224.00	224000.00	1885.5219	3.275432
600	264.00	264000.00	2222.2222	3.346787
650	308.00	308000.00	2592.5926	3.413734
700	379.00	379000.00	3190.2357	3.503823
750	450.00	450000.00	3787.8788	3.578396

Gambar 3 Polarisasi Pada Pengelasan Elektroda Kandungan Mangan Tinggi Dengan Konsentrasi Larutan HCl 5%

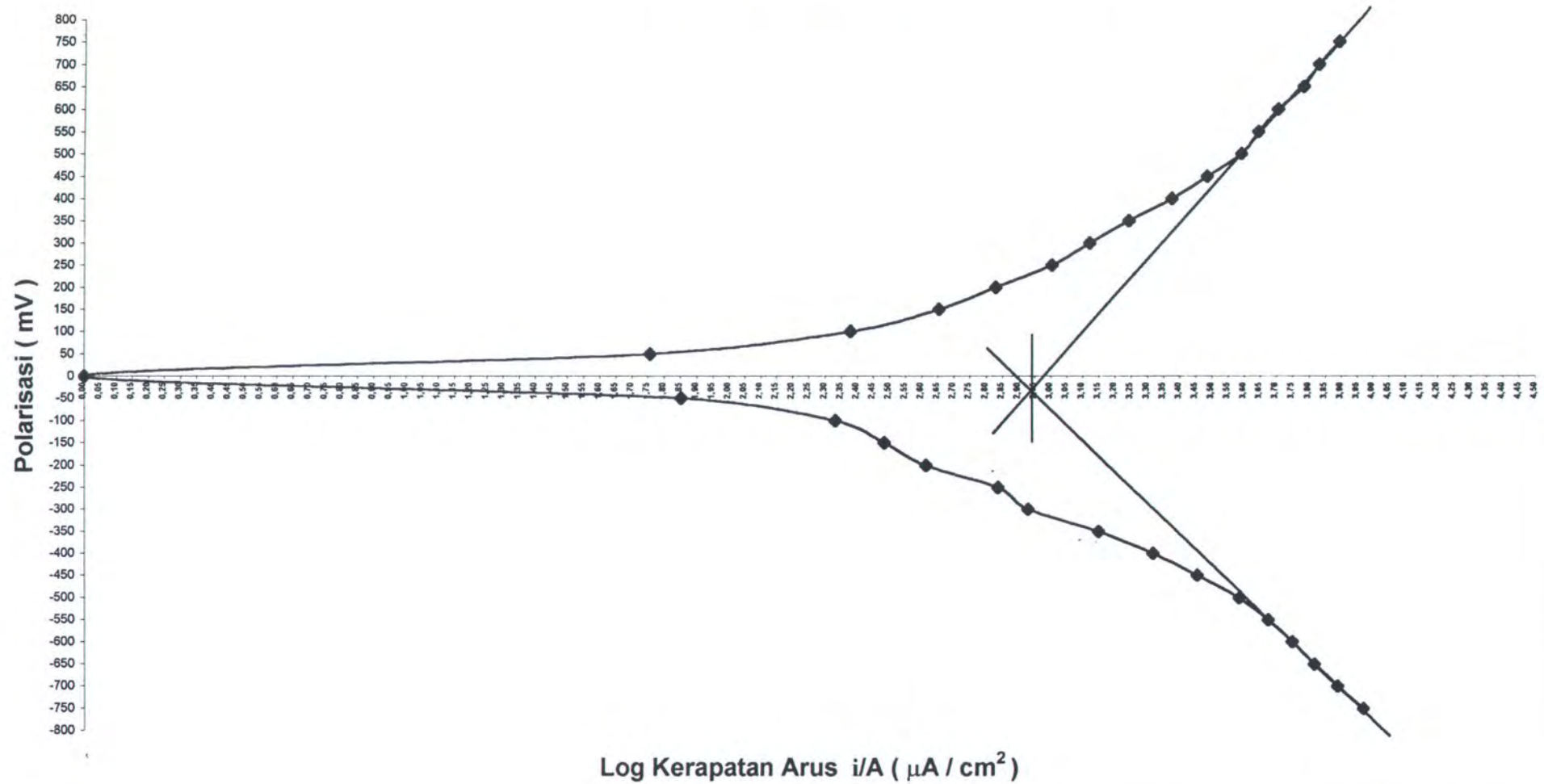


Data Hasil Percobaan

Lampiran 4 Data Percobaan Polarisasi Untuk Pengelasan Dengan Elektroda Kandungan Mangan Tinggi Pada Konsentrasi Larutan HCl 10% Dengan Luasan Spesimen 118,80 cm²

V (mV)	Data Percobaan IV		i / A (μ A / cm ²)	Log (i / A)
	i (mA)	i (μ A)		
-750	1107.00	1107000.00	9318.1818	3.9693
-700	919.00	919000.00	7735.6902	3.8884
-650	780.00	780000.00	6565.6566	3.8172
-600	667.00	667000.00	5614.4781	3.7493
-550	562.00	562000.00	4730.6397	3.6749
-500	456.00	456000.00	3838.3838	3.5841
-450	338.00	338000.00	2845.1178	3.4541
-400	246.00	246000.00	2070.7071	3.3161
-350	166.95	166950.00	1405.3030	3.1477
-300	100.68	100680.00	847.4747	2.9281
-250	81.38	81380.00	685.0168	2.8357
-200	48.60	48600.00	409.0909	2.6118
-150	36.20	36200.00	304.7138	2.4838
-100	25.50	25500.00	214.6465	2.3317
-50	8.44	8436.00	71.0101	1.8513
0	0.00	0.00	0.00	0.
50	6.78	6780.000	57.0707	1.7564
100	28.44	28435.714	239.3579	2.3790
150	53.29	53285.714	448.5329	2.6517
200	80.00	80000.000	673.4007	2.8282
250	119.60	119600.000	1006.7340	3.0029
300	156.67	156666.667	1318.7430	3.1201
350	207.00	207000.000	1742.4242	3.2411
400	281.00	281000.000	2365.3199	3.3738
450	361.00	361000.000	3038.7205	3.4826
500	459.00	459000.000	3863.6364	3.5869
550	521.00	521000.000	4385.5219	3.6420
600	596.00	596000.000	5016.8350	3.7004
650	728.00	728000.000	6127.9461	3.7873
700	788.00	788000.000	6632.9966	3.8217
750	920.00	920000.000	7744.1077	3.8889

Gambar 4 Polarisasi Pada Pengelasan Elektroda Kandungan Mangan Tinggi Dengan Konsentrasi Larutan HCl 10%

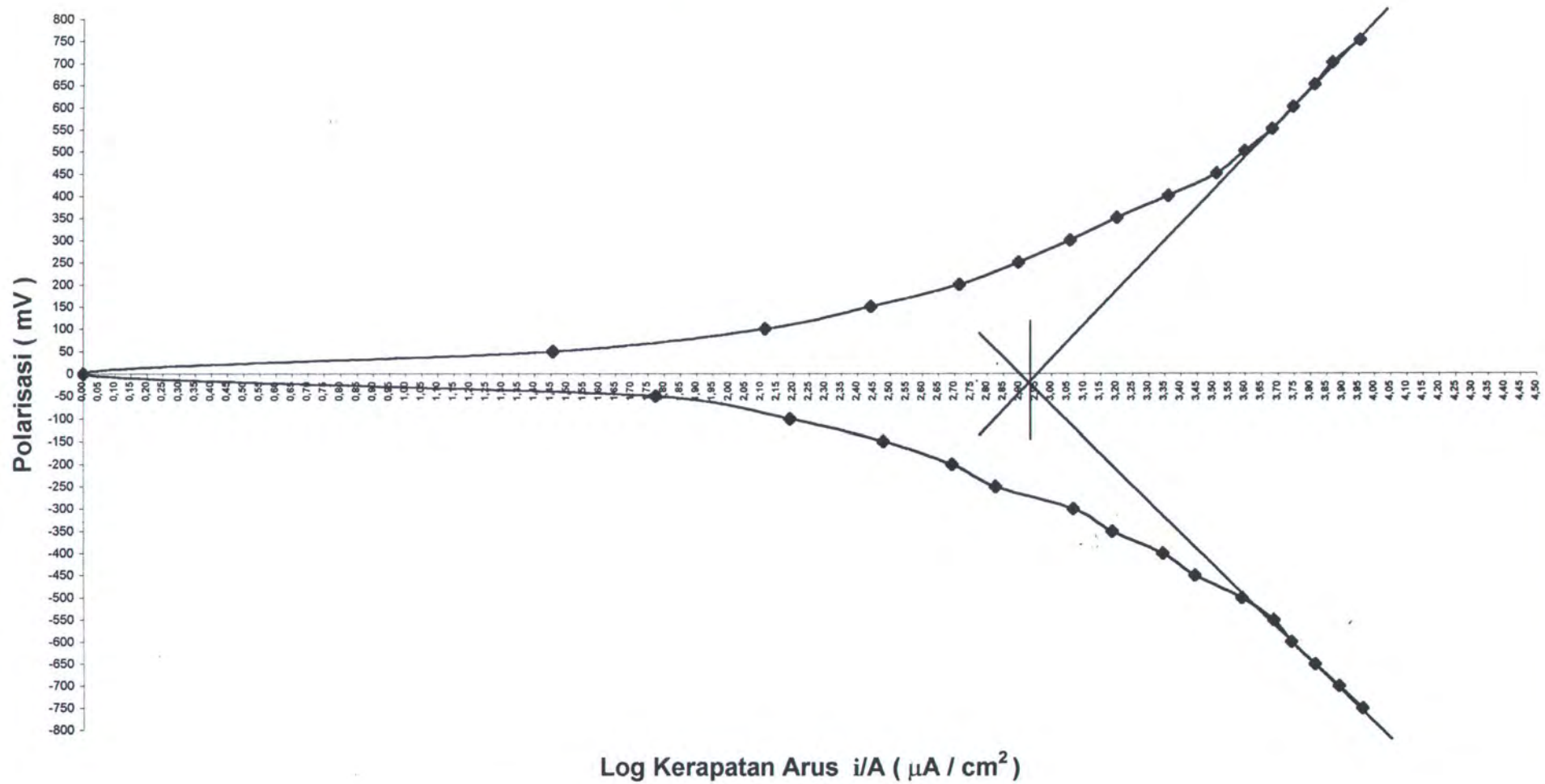


Data Hasil Percobaan

Lampiran 5 Data Percobaan Polarisasi Untuk Pengelasan Dengan Elektroda Kandungan Mangan Tinggi Pada Konsentrasi Larutan HCl 10% Dengan Luasan Spesimen 118,80 cm²

V (mV)	Data Percobaan V		i / A ($\mu\text{A} / \text{cm}^2$)	Log (i / A)
	i (mA)	i (μA)		
-750	1084.00	1084000.00	9124.5791	3.960213
-700	918.00	918000.00	7727.2727	3.888026
-650	773.00	773000.00	6506.7340	3.813363
-600	655.00	655000.00	5513.4680	3.741425
-550	577.00	577000.00	4856.9024	3.686359
-500	461.00	461000.00	3880.4714	3.588884
-450	329.00	329000.00	2769.3603	3.442379
-400	262.00	262000.00	2205.3872	3.343485
-350	182.00	182000.00	1531.9865	3.185255
-300	138.25	138250.00	1163.7205	3.065849
-250	79.23	79230.00	666.9192	2.824073
-200	58.33	58330.00	490.9933	2.691076
-150	35.70	35700.00	300.5051	2.477852
-100	18.40	18400.00	154.8822	2.190001
-50	7.03	7030.00	59.1751	1.772139
0	0.00	0.00	0.00	0.00
50	3.39	3390.00	28.5354	1.455383
100	15.41	15410.00	129.7138	2.112986
150	32.74	32742.86	275.6133	2.440300
200	61.40	61400.00	516.8350	2.713352
250	93.57	93571.43	787.6383	2.896327
300	135.20	135200.00	1138.0471	3.056160
350	188.64	188636.36	1587.8482	3.200809
400	272.00	272000.00	2289.5623	3.359752
450	382.00	382000.00	3215.4882	3.507247
500	468.00	468000.00	3939.3939	3.595429
550	568.00	568000.00	4781.1448	3.679532
600	658.00	658000.00	5538.7205	3.743409
650	767.00	767000.00	6456.2290	3.809979
700	872.00	872000.00	7340.0673	3.865700
750	1058.00	1058000.00	8905.7239	3.949669

Gambar 5 Polarisasi Pada Pengelasan Elektroda Kandungan Mangan Tinggi Dengan Konsentrasi Larutan HCl 10%

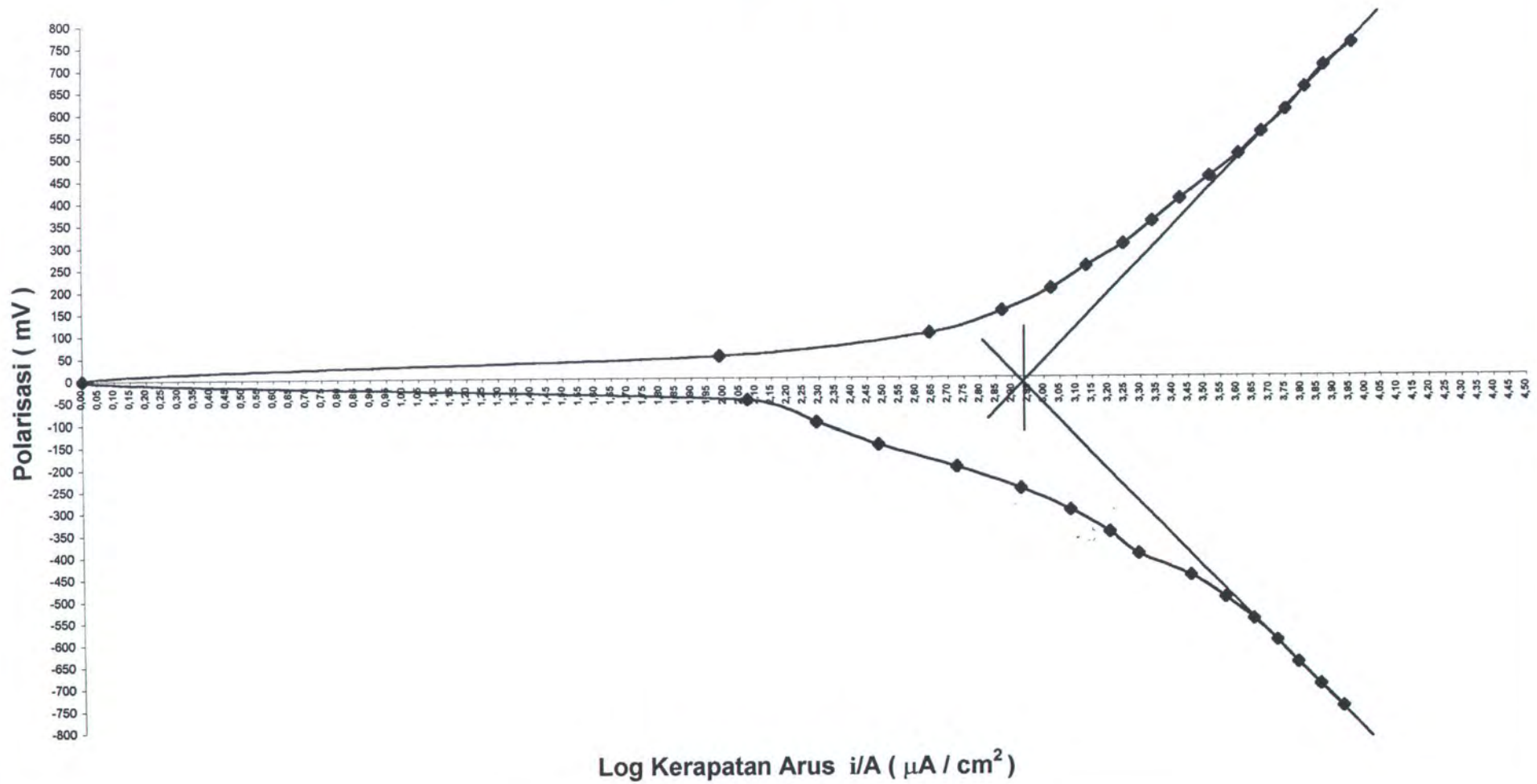


Data Hasil Percobaan

Lampiran 6 Data Percobaan Polarisasi Untuk Pengelasan Dengan Elektroda Kandungan Mangan Tinggi Pada Konsentrasi Larutan HCl 10% Dengan Luasan Spesimen 118,80 cm²

V (mV)	Data Percobaan VI		i / A (μ A / cm ²)	Log (i / A)
	i (mA)	i (μ A)		
-750	1004.00	1004000.00	8451.1785	3.926917
-700	852.00	852000.00	7171.7172	3.855623
-650	724.00	724000.00	6094.2761	3.784922
-600	625.00	625000.00	5260.9428	3.721064
-550	529.00	529000.00	4452.8620	3.648639
-500	432.00	432000.00	3636.3636	3.560667
-450	338.00	338000.00	2845.1178	3.454100
-400	232.00	232000.00	1952.8620	3.290672
-350	189.21	189210.00	1592.6768	3.202128
-300	142.63	142630.00	1200.5892	3.079394
-250	100.16	100160.00	843.0976	2.925878
-200	63.18	63180.00	531.8182	2.725763
-150	36.20	36200.00	304.7138	2.483892
-100	23.18	23181.82	195.1331	2.290331
-50	14.06	14060.00	118.3502	2.073169
0	0.00	0.00	0.00	0.00
50	11.55	11550.00	97.2222	1.987766
100	52.09	52090.91	438.4757	2.641945
150	87.71	87714.29	738.3357	2.868254
200	124.76	124761.90	1050.1844	3.021266
250	160.95	160952.38	1354.8180	3.131881
300	210.00	210000.00	1767.6768	3.247403
350	258.00	258000.00	2171.7172	3.336803
400	315.00	315000.00	2651.5152	3.423494
450	390.00	390000.00	3282.8283	3.516248
500	479.00	479000.00	4031.9865	3.605519
550	563.00	563000.00	4739.0572	3.675692
600	670.00	670000.00	5639.7306	3.751258
650	770.00	770000.00	6481.4815	3.811674
700	882.00	882000.00	7424.2424	3.870652
750	1075.00	1075000.00	9048.8215	3.956592

Gambar 6 Polarisasi Pada Pengelasan Elektroda Kandungan Mangan Tinggi Dengan Konsentrasi Larutan HCl 10%

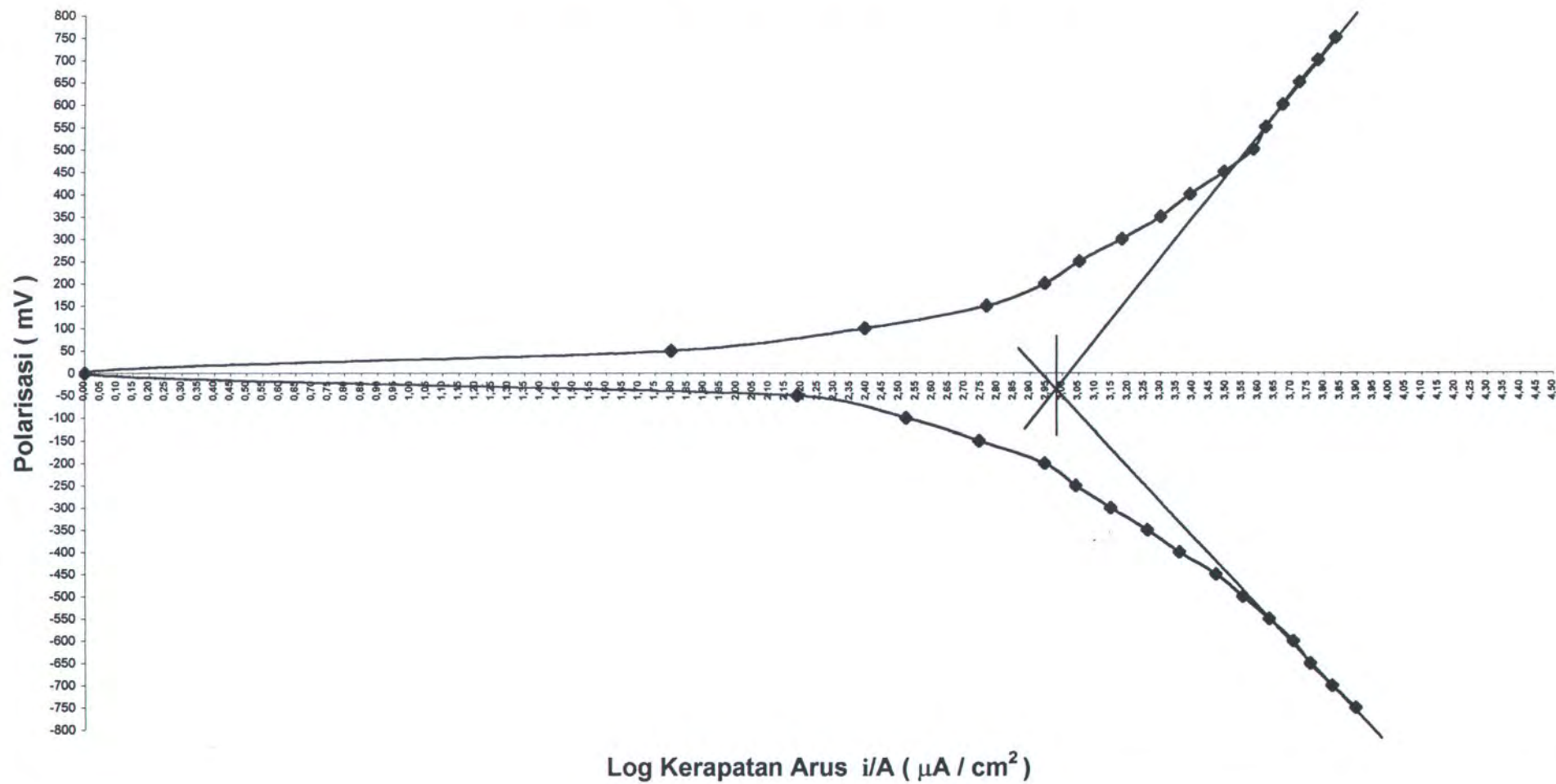


Data Hasil Percobaan

Lampiran 7 Data Percobaan Polarisasi Untuk Pengelasan Dengan Elektroda Kandungan Mangan Tinggi Pada Konsentrasi Larutan HCl 10% Dengan Luasan Spesimen **150,40 cm²**

V (mV)	Data Percobaan VII		i / A (μ A / cm ²)	Log (i / A)
	i (mA)	i (μ A)		
-750	1181.00	1181000.00	7852.3936	3.895002
-700	1001.00	1001000.00	6655.5851	3.823186
-650	860.00	860000.00	5718.0851	3.757251
-600	764.00	764000.00	5079.7872	3.705846
-550	644.00	644000.00	4281.9149	3.631638
-500	535.00	535000.00	3557.1809	3.551106
-450	442.00	442000.00	2938.8298	3.468174
-400	343.00	343000.00	2280.5851	3.358046
-350	273.00	273000.00	1815.1596	3.258915
-300	211.00	211000.00	1402.9255	3.147035
-250	165.03	165025.00	1097.2407	3.040302
-200	132.12	132120.00	878.4574	2.943721
-150	83.30	83300.00	553.8564	2.743397
-100	49.75	49750.00	330.7846	2.519545
-50	23.14	23142.86	153.8754	2.187169
0	0.00	0.00	0.00	0.00
50	9.46	9460.00	62.8989	1.798643
100	37.28	37277.78	247.8576	2.394202
150	87.69	87692.31	583.0606	2.765714
200	132.40	132400.00	880.3191	2.944640
250	168.85	168846.15	1122.6473	3.050243
300	228.00	228000.00	1515.9574	3.180687
350	299.00	299000.00	1988.0319	3.298423
400	369.00	369000.00	2453.4574	3.389779
450	467.00	467000.00	3105.0532	3.492069
500	573.00	573000.00	3809.8404	3.580907
550	624.00	624000.00	4148.9362	3.617937
600	705.00	705000.00	4687.5000	3.670941
650	784.00	784000.00	5212.7660	3.717068
700	896.00	896000.00	5957.4468	3.775060
750	1016.00	1016000.00	6755.3191	3.829646

Gambar 7 Polarisasi Pada Pengelasan Elektroda Kandung Mangan Tinggi Dengan Luasan Spesimen $150,40 \text{ cm}^2$ Pada Konsentrasi Larutan HCl 10%

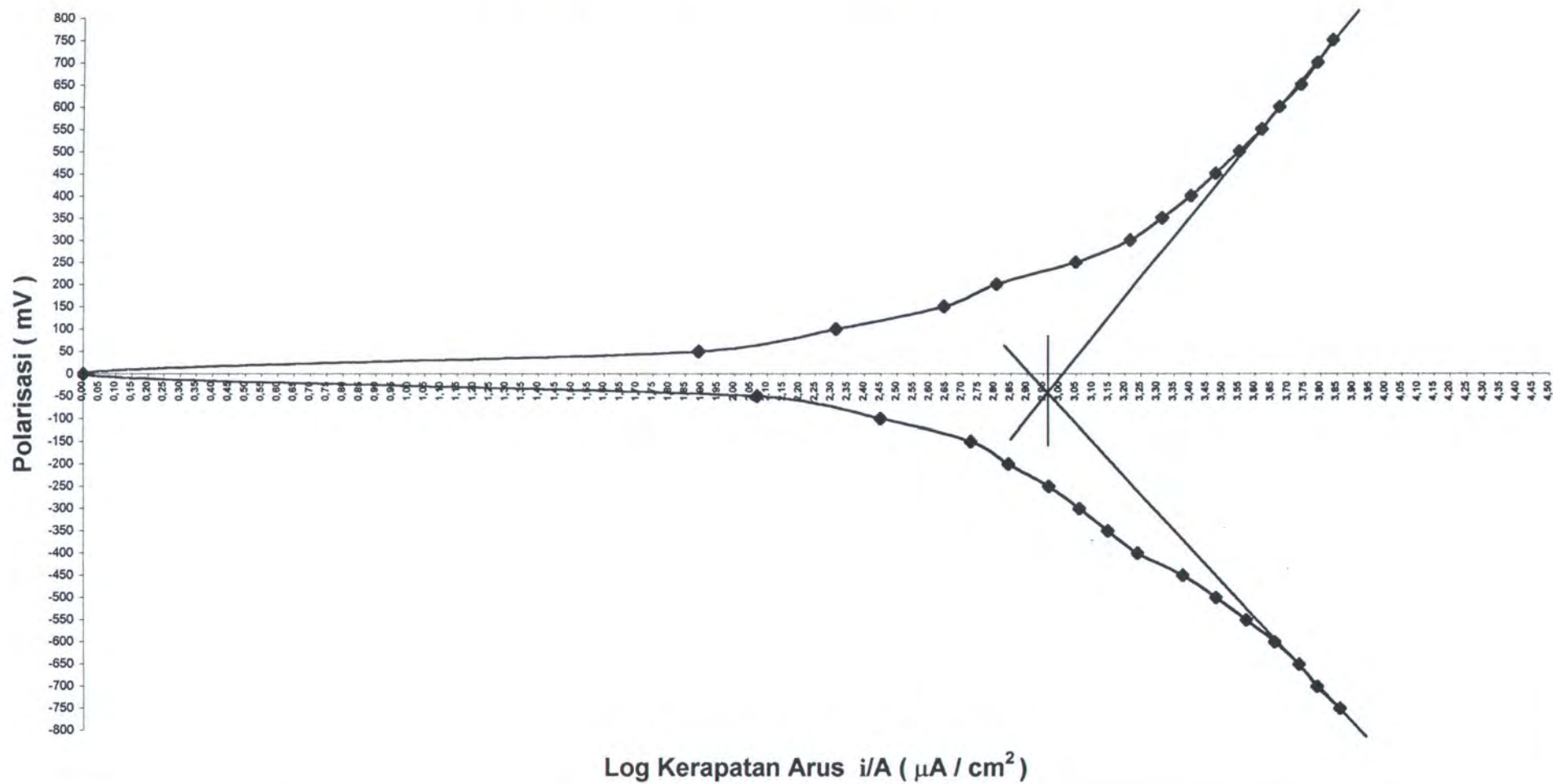


Data Hasil Percobaan

Lampiran 8 Data Percobaan Polarisasi Untuk Pengelasan Dengan Elektroda Kandungan Mangan Tinggi Pada Konsentrasi Larutan HCl 10% Dengan Luasan Spesimen **150,40 cm²**

V (mV)	Data Percobaan VIII		i / A (μ A / cm ²)	Log (i / A)
	i (mA)	i (μ A)		
-750	1087.00	1087000.00	7227.3936	3.858982
-700	925.00	925000.00	6150.2660	3.788894
-650	815.00	815000.00	5418.8830	3.733910
-600	687.00	687000.00	4567.8191	3.659709
-550	562.00	562000.00	3736.7021	3.572488
-500	453.00	453000.00	3011.9681	3.478850
-450	358.00	358000.00	2380.3191	3.376635
-400	261.00	261000.00	1735.3723	3.239393
-350	211.00	211000.00	1402.9255	3.147035
-300	172.20	172200.00	1144.9468	3.058785
-250	138.82	138820.00	923.0053	2.965204
-200	104.61	104610.00	695.5452	2.842325
-150	79.97	79970.00	531.7154	2.725679
-100	42.18	42181.82	280.4642	2.447877
-50	17.62	17620.00	117.1543	2.068758
0	0.00	0.00	0.00	0.00
50	11.67	11670.00	77.5931	1.889823
100	30.90	30900.00	205.4521	2.312711
150	66.15	66148.15	439.8148	2.643270
200	96.15	96153.85	639.3208	2.805719
250	167.83	167826.09	1115.8649	3.047612
300	247.00	247000.00	1642.2872	3.215449
350	309.00	309000.00	2054.5213	3.312711
400	378.00	378000.00	2513.2979	3.400244
450	449.00	449000.00	2985.3723	3.474999
500	531.00	531000.00	3530.5851	3.547847
550	622.00	622000.00	4135.6383	3.616543
600	704.00	704000.00	4680.8511	3.670325
650	820.00	820000.00	5452.1277	3.736566
700	922.00	922000.00	6130.3191	3.787483
750	1025.00	1025000.00	6815.1596	3.833476

Gambar 8 Polarisasi Pada Pengelasan Elektroda Kandungan Mangan Tinggi Dengan Luasan Spesimen $150,40 \text{ cm}^2$ Pada Konsentrasi Larutan HCl 10%

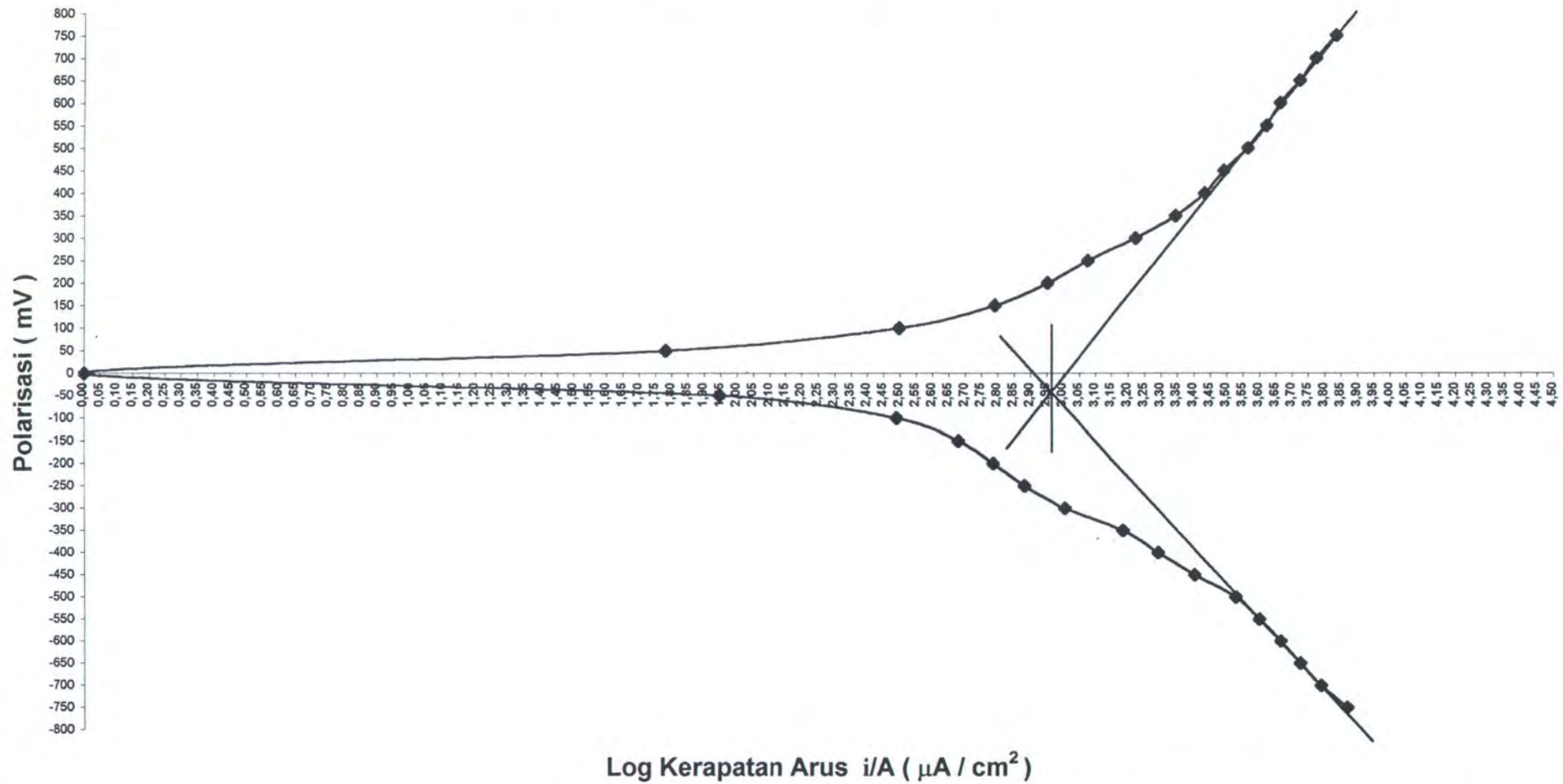


Data Hasil Percobaan

Lampiran 9 Data Percobaan Polarisasi Untuk Pengelasan Dengan Elektroda Kandungan Mangan Tinggi Pada Konsentrasi Larutan HCl 10% Dengan Luasan Spesimen **150,40 cm²**

V (mV)	Data Percobaan IX		i / A ($\mu\text{A} / \text{cm}^2$)	Log (i / A)
	i (mA)	i (μA)		
-750	1115.00	1115000.00	7413.5638	3.870027
-700	924.00	924000.00	6143.6170	3.788424
-650	798.00	798000.00	5305.8511	3.724755
-600	696.00	696000.00	4627.6596	3.665361
-550	598.00	598000.00	3976.0638	3.599453
-500	507.00	507000.00	3371.0106	3.527760
-450	379.00	379000.00	2519.9468	3.401391
-400	293.00	293000.00	1948.1383	3.289620
-350	229.00	229000.00	1522.6064	3.182588
-300	151.44	151440.00	1006.9149	3.002993
-250	114.12	114120.00	758.7766	2.880114
-200	91.63	91630.00	609.2420	2.784790
-150	71.64	71640.00	476.3298	2.677908
-100	46.40	46400.00	308.5106	2.489270
-50	13.30	13300.00	88.4309	1.946604
0	0.00	0.00	0.00	0.00
50	9.10	9100.00	60.5053	1.781794
100	47.30	47300.00	314.4947	2.497613
150	92.70	92700.00	616.3564	2.789832
200	134.20	134200.00	892.2872	2.950505
250	178.60	178600.00	1187.5000	3.074634
300	250.00	250000.00	1662.2340	3.220692
350	331.00	331000.00	2200.7979	3.342580
400	406.00	406000.00	2699.4681	3.431278
450	465.00	465000.00	3091.7553	3.490205
500	550.00	550000.00	3656.9149	3.563115
550	627.00	627000.00	4168.8830	3.620020
600	690.00	690000.00	4587.7660	3.661601
650	791.00	791000.00	5259.3085	3.720929
700	887.00	887000.00	5897.6064	3.770676
750	1011.00	1011000.00	6722.0745	3.827503

Gambar 9 Polarisasi Pada Pengelasan Elektroda Kandungan Mangan Tinggi Dengan Luasan Spesimen $150,40 \text{ cm}^2$ Pada Konsentrasi Larutan HCl 10%

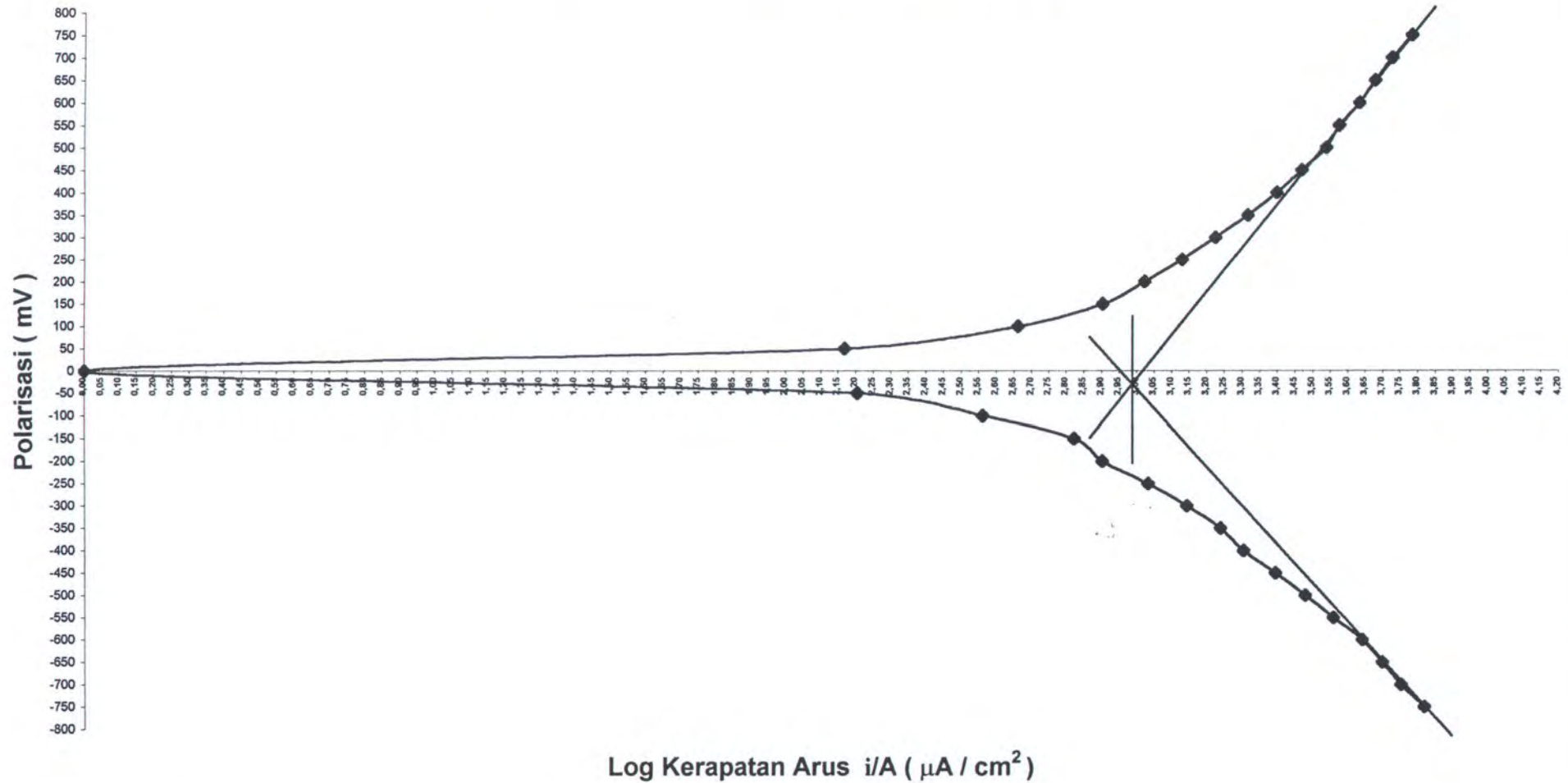


Data Hasil Percobaan

Lampiran 10 Data Percobaan Polarisasi Untuk Pengelasan Dengan Elektroda Kandungan Mangan Tinggi Pada Konsentrasi Larutan HCl 10% Dengan Luasan Spesimen **182,0 cm²**

V (mV)	Data Percobaan X		i / A ($\mu\text{A} / \text{cm}^2$)	Log (i / A)
	i (mA)	i (μA)		
-750	1195.00	1195000.00	6565.9341	3.817297
-700	1029.00	1029000.00	5653.8462	3.752344
-650	912.00	912000.00	5010.9890	3.699923
-600	798.00	798000.00	4384.6154	3.641932
-550	659.00	659000.00	3620.8791	3.558814
-500	549.00	549000.00	3016.4835	3.479501
-450	452.00	452000.00	2483.5165	3.395067
-400	367.00	367000.00	2016.4835	3.304595
-350	316.00	316000.00	1736.2637	3.239616
-300	253.00	253000.00	1390.1099	3.143049
-250	196.50	196500.00	1079.6703	3.033291
-200	145.00	145000.00	796.7033	2.901297
-150	121.00	121000.00	664.8352	2.822714
-100	66.20	66200.00	363.7363	2.560787
-50	29.20	29200.00	160.4396	2.205311
0	0.00	0.00	0.00	0.00
50	26.80	26800.00	147.2527	2.168063
100	83.40	83400.00	458.2418	2.661095
150	145.70	145700.00	800.5495	2.903388
200	191.54	191538.46	1052.4091	3.022185
250	245.00	245000.00	1346.1538	3.129095
300	305.00	305000.00	1675.8242	3.224228
350	376.00	376000.00	2065.9341	3.315116
400	454.00	454000.00	2494.5055	3.396984
450	534.00	534000.00	2934.0659	3.467470
500	627.00	627000.00	3445.0549	3.537196
550	681.00	681000.00	3741.7582	3.573076
600	780.00	780000.00	4285.7143	3.632023
650	864.00	864000.00	4747.2527	3.676442
700	968.00	968000.00	5318.6813	3.725804
750	1101.00	1101000.00	6049.4505	3.781716

Gambar 10 Polarisasi Pada Pengelasan Elektroda Kandungan Mangan Tinggi Dengan Luasan Spesimen $182,0 \text{ cm}^2$ Pada Konsentrasi Larutan HCl 10%

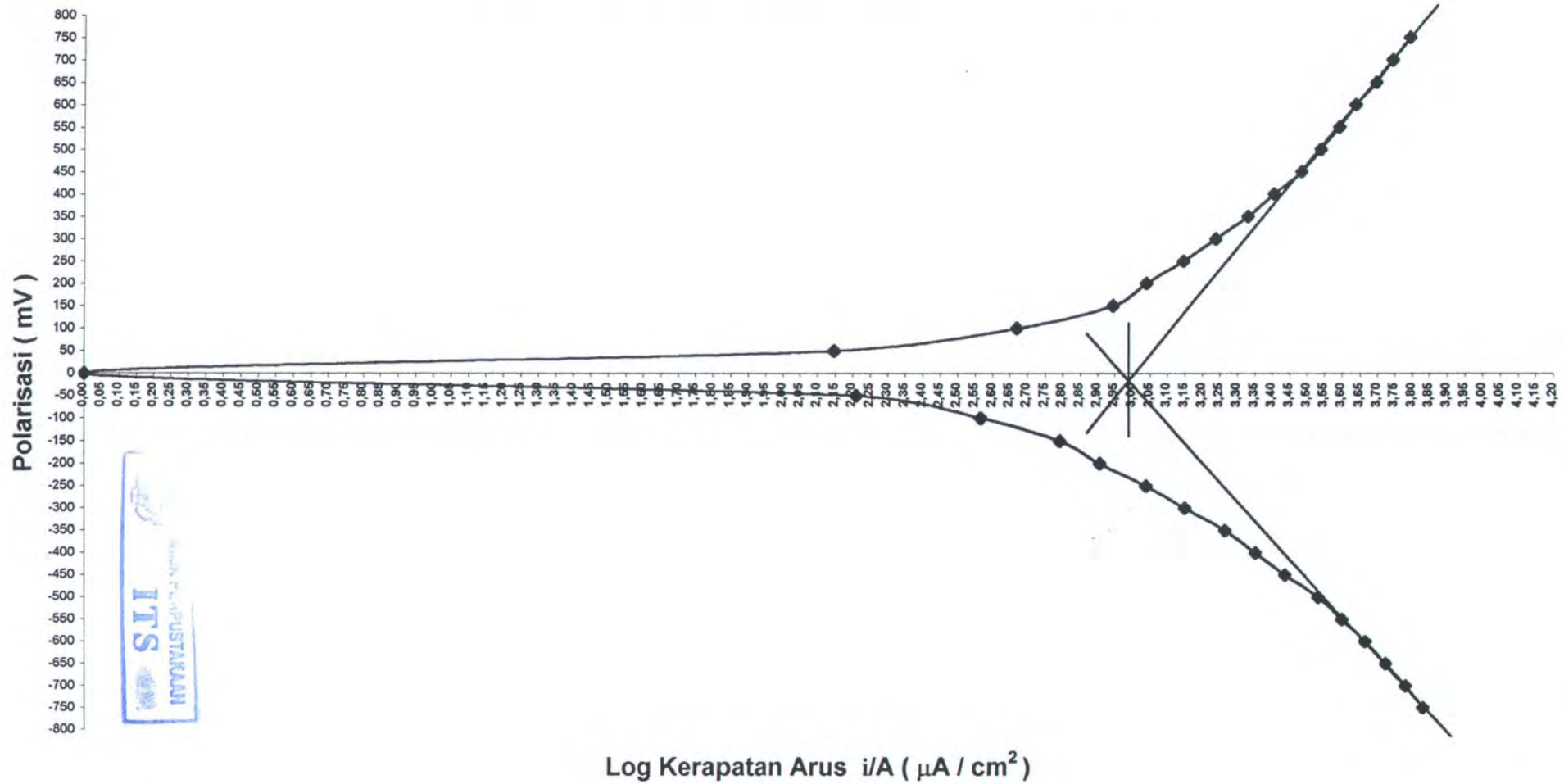


Data Hasil Percobaan

Lampiran 11 Data Percobaan Polarisasi Untuk Pengelasan Dengan Elektroda Kandungan Mangan Tinggi Pada Konsentrasi Larutan HCl 10% Dengan Luasan Spesimen **182,0 cm²**

V (mV)	Data Percobaan XI		i / A ($\mu\text{A} / \text{cm}^2$)	Log (i / A)
	i (mA)	i (μA)		
-750	1230.00	1230000.00	6758.2418	3.829834
-700	1094.00	1094000.00	6010.9890	3.778946
-650	961.00	961000.00	5280.2198	3.722652
-600	837.00	837000.00	4598.9011	3.662654
-550	723.00	723000.00	3972.5275	3.599067
-500	618.00	618000.00	3395.6044	3.530917
-450	496.00	496000.00	2725.2747	3.435410
-400	408.00	408000.00	2241.7582	3.350589
-350	334.00	334000.00	1835.1648	3.263675
-300	256.00	256000.00	1406.5934	3.148169
-250	198.48	198484.85	1090.5761	3.037656
-200	146.46	146464.65	804.7508	2.905661
-150	112.56	112558.14	618.4513	2.791306
-100	66.87	66868.69	367.4104	2.565151
-50	29.49	29494.95	162.0602	2.209676
0	0.00	0.00	0.00	0.00
50	25.52	25523.81	140.2407	2.146874
100	85.07	85068.00	467.4066	2.669695
150	160.27	160270.00	880.6044	2.944781
200	199.20	199200.00	1094.5055	3.039218
250	254.00	254000.00	1395.6044	3.144762
300	314.00	314000.00	1725.2747	3.236858
350	388.00	388000.00	2131.8681	3.328760
400	461.00	461000.00	2532.9670	3.403630
450	551.00	551000.00	3027.4725	3.481080
500	627.00	627000.00	3445.0549	3.537196
550	707.00	707000.00	3884.6154	3.589348
600	786.00	786000.00	4318.6813	3.635351
650	898.00	898000.00	4934.0659	3.693205
700	1004.00	1004000.00	5516.4835	3.741662
750	1122.00	1122000.00	6164.8352	3.789921

Gambar 11 Polarisasi Pada Pengelasan Elektroda Kandungan Mangan Tinggi Dengan Luasan Spesimen 182,0 cm² Pada Konsentrasi Larutan HCl 10%

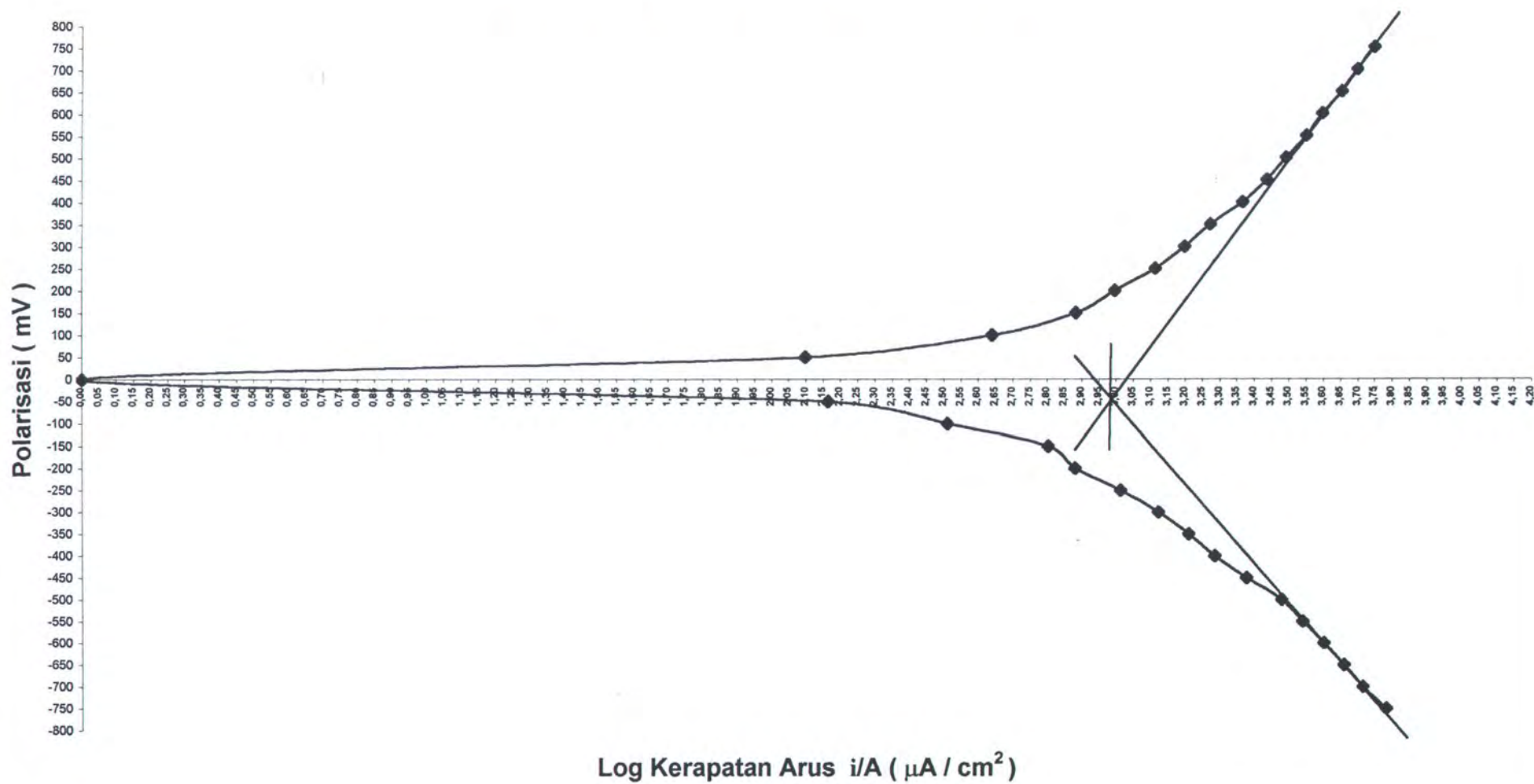


Data Hasil Percobaan

Lampiran 12 Data Percobaan Polarisasi Untuk Pengelasan Dengan Elektroda Kandungan Mangan Tinggi Pada Konsentrasi Larutan HCl 10% Dengan Luasan Spesimen **182,0 cm²**

V (mV)	Data Percobaan XII		i / A ($\mu\text{A} / \text{cm}^2$)	Log (i / A)
	i (mA)	i (μA)		
-750	1102.00	1102000.00	6054.9451	3.782110
-700	940.00	940000.00	5164.8352	3.713056
-650	827.00	827000.00	4543.9560	3.657434
-600	714.00	714000.00	3923.0769	3.593627
-550	629.00	629000.00	3456.0440	3.538579
-500	549.00	549000.00	3016.4835	3.479501
-450	433.00	433000.00	2379.1209	3.376417
-400	350.00	350000.00	1923.0769	3.283997
-350	294.00	294000.00	1615.3846	3.208276
-300	241.00	241000.00	1324.1758	3.121946
-250	187.14	187142.86	1028.2575	3.012102
-200	138.10	138095.24	758.7650	2.880107
-150	115.24	115238.10	633.1763	2.801525
-100	58.84	58844.44	323.3211	2.509634
-50	26.55	26545.45	145.8541	2.163919
0	0.00	0.00	0.00	0.00
50	22.81	22808.51	125.3215	2.098026
100	79.43	79428.57	436.4207	2.639905
150	138.76	138761.90	762.4280	2.882199
200	180.43	180434.78	991.3999	2.996249
250	236.00	236000.00	1296.7033	3.112841
300	287.00	287000.00	1576.9231	3.197811
350	340.00	340000.00	1868.1319	3.271408
400	421.00	421000.00	2313.1868	3.364211
450	496.00	496000.00	2725.2747	3.435410
500	565.00	565000.00	3104.3956	3.491977
550	643.00	643000.00	3532.9670	3.548140
600	715.00	715000.00	3928.5714	3.594235
650	816.00	816000.00	4483.5165	3.651619
700	906.00	906000.00	4978.0220	3.697057
750	1016.00	1016000.00	5582.4176	3.746822

Gambar 12 Polarisasi Pada Pengelasan Elektroda Kandungan Mangan Tinggi Dengan Luasan Spesimen $182,0 \text{ cm}^2$ Pada Konsentrasi Larutan HCl 10%

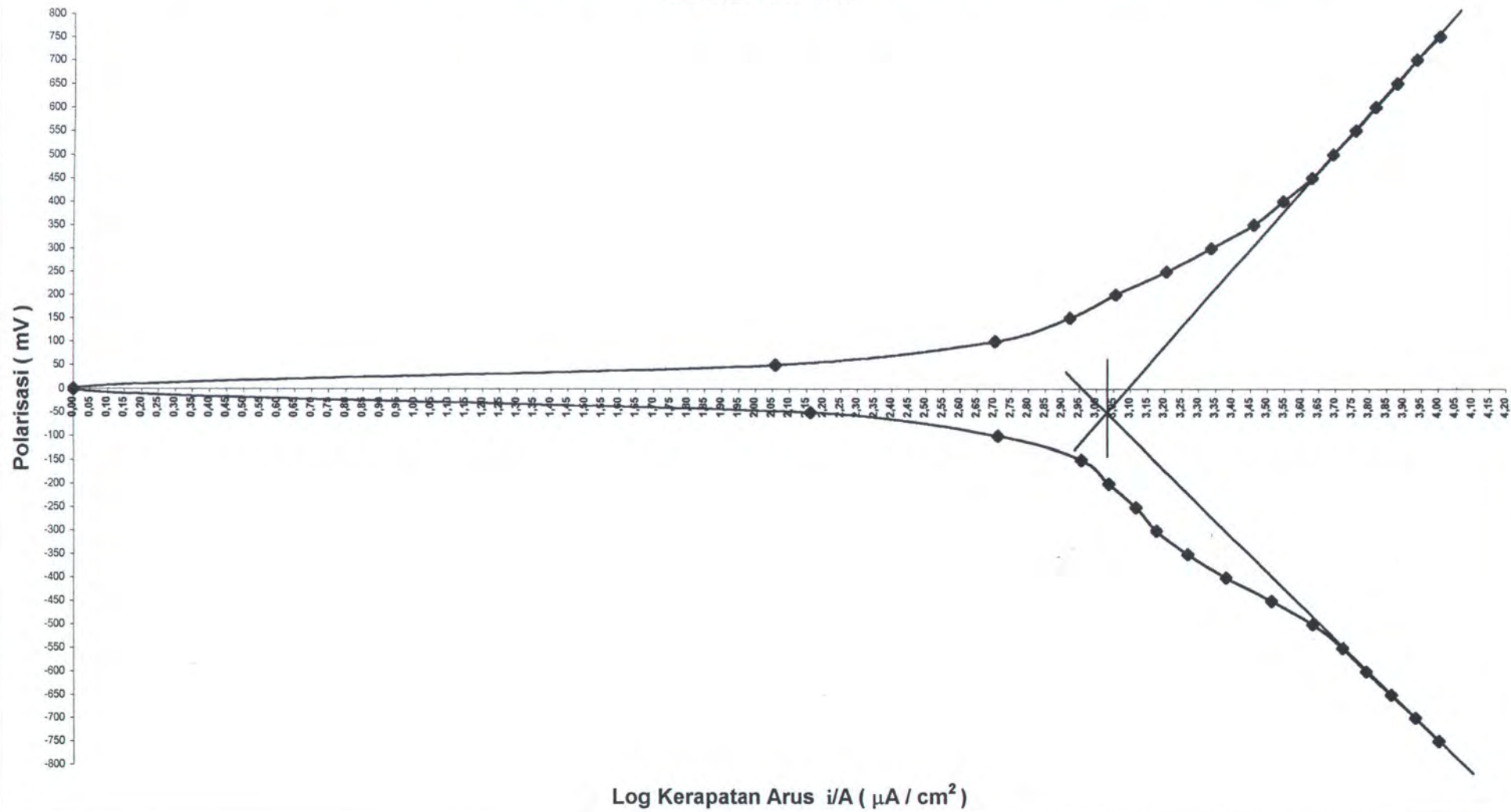


Data Hasil Percobaan

Lampiran 13 Data Percobaan Polarisasi Untuk Pengelasan Dengan Elektroda Kandungan Mangan Tinggi Pada Konsentrasi Larutan HCl 15% Dengan Luasan Spesimen 118,80 cm²

V (mV)	Data Percobaan XIII		i / A ($\mu\text{A} / \text{cm}^2$)	Log (i / A)
	i (mA)	i (μA)		
-750	1208.00	1208000.00	10168.3502	4.007250
-700	1022.00	1022000.00	8602.6936	3.934634
-650	867.00	867000.00	7297.9798	3.863203
-600	730.00	730000.00	6144.7811	3.788506
-550	626.00	626000.00	5269.3603	3.721758
-500	510.00	510000.00	4292.9293	3.632754
-450	386.00	386000.00	3249.1582	3.511771
-400	286.00	286000.00	2407.4074	3.381550
-350	220.00	220000.00	1851.8519	3.267606
-300	178.02	178020.00	1498.4848	3.175652
-250	155.00	155000.00	1304.7138	3.115515
-200	129.25	129250.00	1087.9630	3.036614
-150	107.52	107520.00	905.0505	2.956673
-100	61.04	61040.00	513.8047	2.710798
-50	17.20	17204.00	144.8148	2.160813
0	0.00	0.00	0.00	0.00
50	13.60	13600.00	114.4781	2.058722
100	59.82	59818.18	503.5200	2.702017
150	99.33	99330.00	836.1111	2.922264
200	134.75	134750.00	1134.2593	3.054712
250	190.00	190000.00	1599.3266	3.203937
300	257.00	257000.00	2163.2997	3.335117
350	341.00	341000.00	2870.3704	3.457938
400	416.00	416000.00	3501.6835	3.544277
450	504.00	504000.00	4242.4242	3.627614
500	582.00	582000.00	4898.9899	3.690107
550	679.00	679000.00	5715.4882	3.757053
600	775.00	775000.00	6523.5690	3.814485
650	893.00	893000.00	7516.8350	3.876035
700	1015.00	1015000.00	8543.7710	3.931650
750	1188.00	1188000.00	10000.0000	4.000000

Gambar 13 Polarisasi Pada Pengelasan Elektroda Kandungan Mangan Tinggi Dengan Konsentrasi Larutan HCl 15%

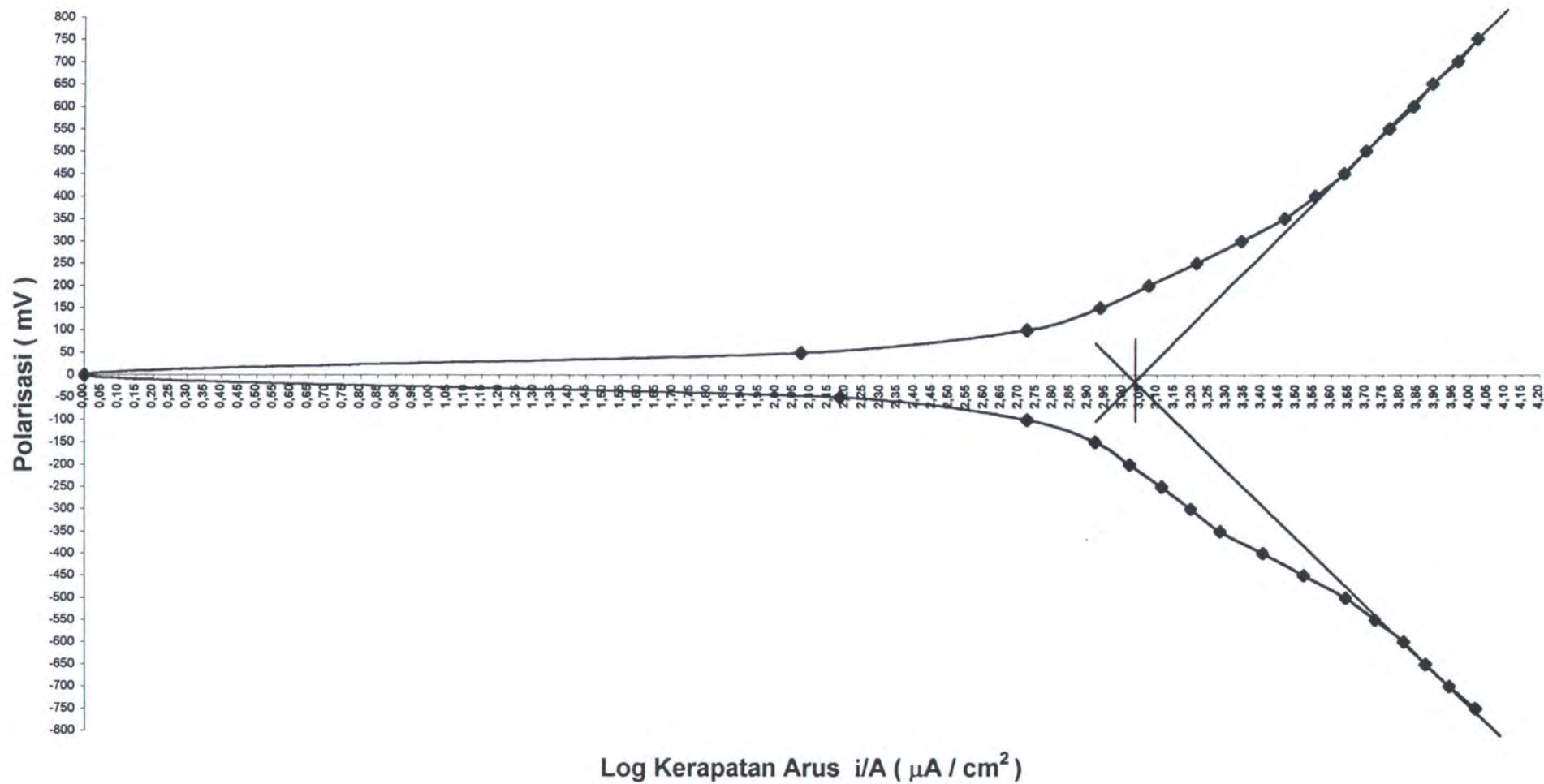


Data Hasil Percobaan

Lampiran 14 Data Percobaan Polarisasi Untuk Pengelasan Dengan Elektroda Kandungan Mangan Tinggi Pada Konsentrasi Larutan HCl 15% Dengan Luasan Spesimen 118,80 cm²

V (mV)	Data Percobaan XIV		i / A ($\mu\text{A} / \text{cm}^2$)	Log (i / A)
	i (mA)	i (μA)		
-750	1228.00	1228000.00	10336.7003	4.014382
-700	1032.00	1032000.00	8686.8687	3.938863
-650	883.00	883000.00	7432.6599	3.871144
-600	765.00	765000.00	6439.3939	3.808845
-550	632.00	632000.00	5319.8653	3.725901
-500	519.00	519000.00	4368.6869	3.640351
-450	393.00	393000.00	3308.0808	3.519576
-400	300.00	300000.00	2525.2525	3.402305
-350	226.00	226000.00	1902.3569	3.279292
-300	185.93	185932.00	1565.0842	3.194538
-250	153.45	153450.00	1291.6667	3.111150
-200	124.08	124080.00	1044.4444	3.018885
-150	98.56	98560.00	829.6296	2.918884
-100	62.78	62784.00	528.4848	2.723033
-50	18.11	18114.80	152.4815	2.183217
0	0.00	0.00	0.00	0.00
50	14.00	14000.00	117.8451	2.071312
100	62.67	62666.67	527.4972	2.722220
150	102.17	102168.00	860.0000	2.934498
200	140.88	140875.00	1185.8165	3.074017
250	193.69	193689.32	1630.3815	3.212289
300	260.00	260000.00	2188.5522	3.340157
350	346.00	346000.00	2912.4579	3.464260
400	422.00	422000.00	3552.1886	3.550496
450	512.00	512000.00	4309.7643	3.634454
500	592.00	592000.00	4983.1650	3.697505
550	691.00	691000.00	5816.4983	3.764662
600	812.00	812000.00	6835.0168	3.834740
650	920.00	920000.00	7744.1077	3.888971
700	1085.00	1085000.00	9132.9966	3.960613
750	1231.00	1231000.00	10361.9529	4.015442

Gambar 14 Polarisasi Pada Pengelasan Elektroda Kandungan Mangan Tinggi Dengan Konsentrasi Larutan HCl 15%

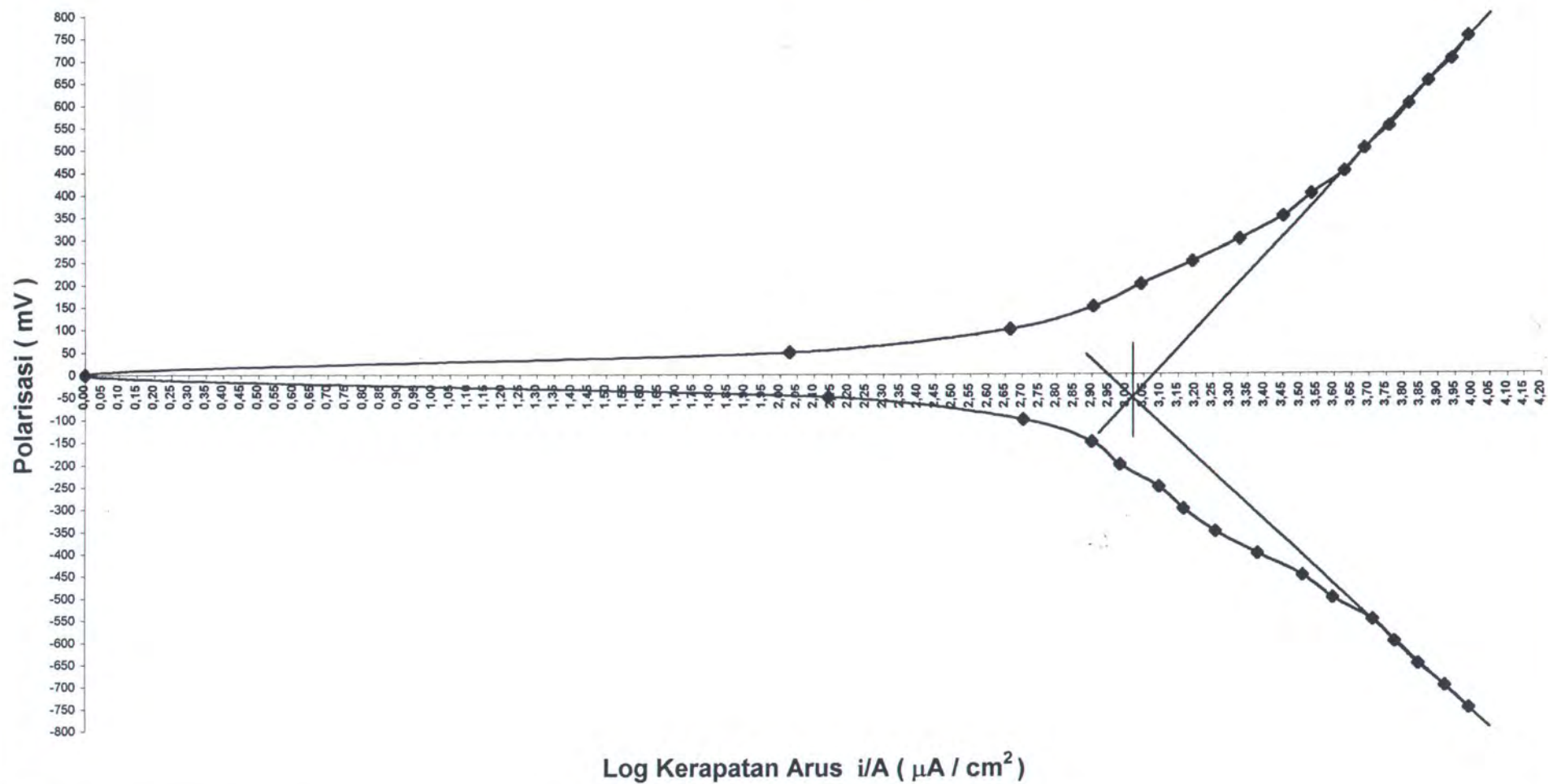


Data Hasil Percobaan

Lampiran 15 Data Percobaan Polarisasi Untuk Pengelasan Dengan Elektroda Kandungan Mangan Tinggi Pada Konsentrasi Larutan HCl 15% Dengan Luasan Spesimen 118,80 cm²

V (mV)	Data Percobaan XV		i / A ($\mu\text{A} / \text{cm}^2$)	Log (i / A)
	i (mA)	i (μA)		
-750	1156.00	1156000.00	9730.6397	3.988141
-700	985.00	985000.00	8291.2458	3.918620
-650	826.00	826000.00	6952.8620	3.842164
-600	703.00	703000.00	5917.5084	3.772139
-550	609.00	609000.00	5126.2626	3.709801
-500	468.00	468000.00	3939.3939	3.595429
-450	380.00	380000.00	3198.6532	3.504967
-400	283.00	283000.00	2382.1549	3.376970
-350	214.00	214000.00	1801.3468	3.255597
-300	173.08	173075.00	1456.8603	3.163418
-250	147.25	147250.00	1239.4781	3.093239
-200	113.74	113740.00	957.4074	2.981097
-150	94.08	94080.00	791.9192	2.898681
-100	59.95	59950.00	504.6296	2.702973
-50	16.39	16394.40	138.0000	2.139879
0	0.00	0.00	0.00	0.00
50	12.64	12640.00	106.3973	2.026931
100	54.83	54833.33	461.5600	2.664228
150	95.55	95546.00	804.2593	2.905396
200	131.08	131075.00	1103.3249	3.042703
250	184.72	184722.22	1554.9009	3.191703
300	253.00	253000.00	2129.6296	3.328304
350	337.00	337000.00	2836.7003	3.452813
400	407.00	407000.00	3425.9259	3.534778
450	508.00	508000.00	4276.0943	3.631047
500	582.00	582000.00	4898.9899	3.690107
550	685.00	685000.00	5765.9933	3.760874
600	783.00	783000.00	6590.9091	3.818945
650	893.00	893000.00	7516.8350	3.876035
700	1045.00	1045000.00	8796.2963	3.944300
750	1167.00	1167000.00	9823.2323	3.992254

Gambar 15 Polarisasi Pada Pengelasan Elektroda Kandungan Mangan Tinggi Dengan Konsentrasi Larutan HCl 15%

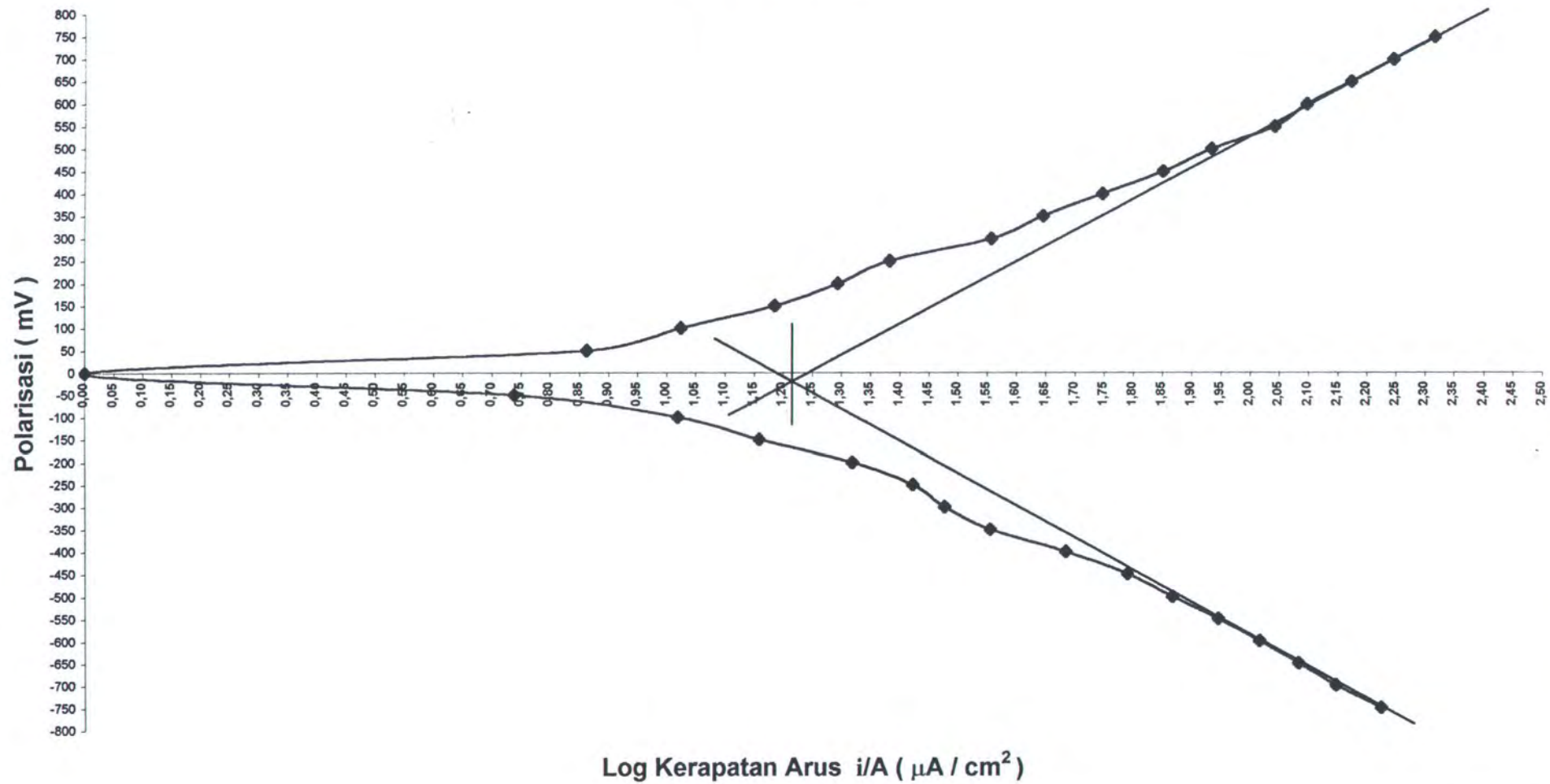


Data Hasil Percobaan

Lampiran 16 Data Percobaan Polarisasi Untuk Pengelasan Dengan Elektroda Kandungan Chromium Tinggi Pada Konsentrasi Larutan HCl 5% Dengan Luasan Spesimen 118,80 cm²

V (mV)	Data Percobaan XVI		i / A ($\mu\text{A} / \text{cm}^2$)	Log (i / A)
	i (mA)	i (μA)		
-750	19.38	19380.00	163.1313	2.212537
-700	16.62	16620.00	139.8990	2.145815
-650	14.35	14350.00	120.7912	2.082035
-600	12.30	12300.00	103.5354	2.015089
-550	10.46	10460.00	88.0471	1.944715
-500	8.74	8740.00	73.5690	1.866695
-450	7.32	7320.00	61.6162	1.789695
-400	5.73	5730.00	48.2323	1.683338
-350	4.26	4260.00	35.8586	1.554593
-300	3.56	3560.00	29.9663	1.476634
-250	3.14	3140.00	26.4310	1.422113
-200	2.48	2475.00	20.8333	1.318759
-150	1.71	1710.00	14.3939	1.158180
-100	1.24	1240.00	10.4377	1.018605
-50	0.65	650.00	5.4714	0.738097
0	0.00	0.00	0.00	0.00
50	0.87	865.00	7.2811	0.862200
100	1.26	1255.00	10.5640	1.023827
150	1.82	1820.00	15.3199	1.185255
200	2.34	2337.00	19.6717	1.293842
250	2.86	2864.00	24.1077	1.382157
300	4.28	4280.00	36.0269	1.556627
350	5.24	5240.00	44.1077	1.644515
400	6.62	6620.00	55.7239	1.746042
450	8.42	8420.00	70.8754	1.850496
500	10.18	10180.00	85.6902	1.932931
550	13.04	13040.00	109.7643	2.040461
600	14.80	14800.00	124.5791	2.095445
650	17.63	17630.00	148.4007	2.171436
700	20.86	20860.00	175.5892	2.244498
750	24.50	24500.00	206.2290	2.314350

Gambar 16 Polarisasi Pada Pengelasan Elektroda Kandungan Chromium Tinggi Dengan Konsentrasi Larutan HCl 5%

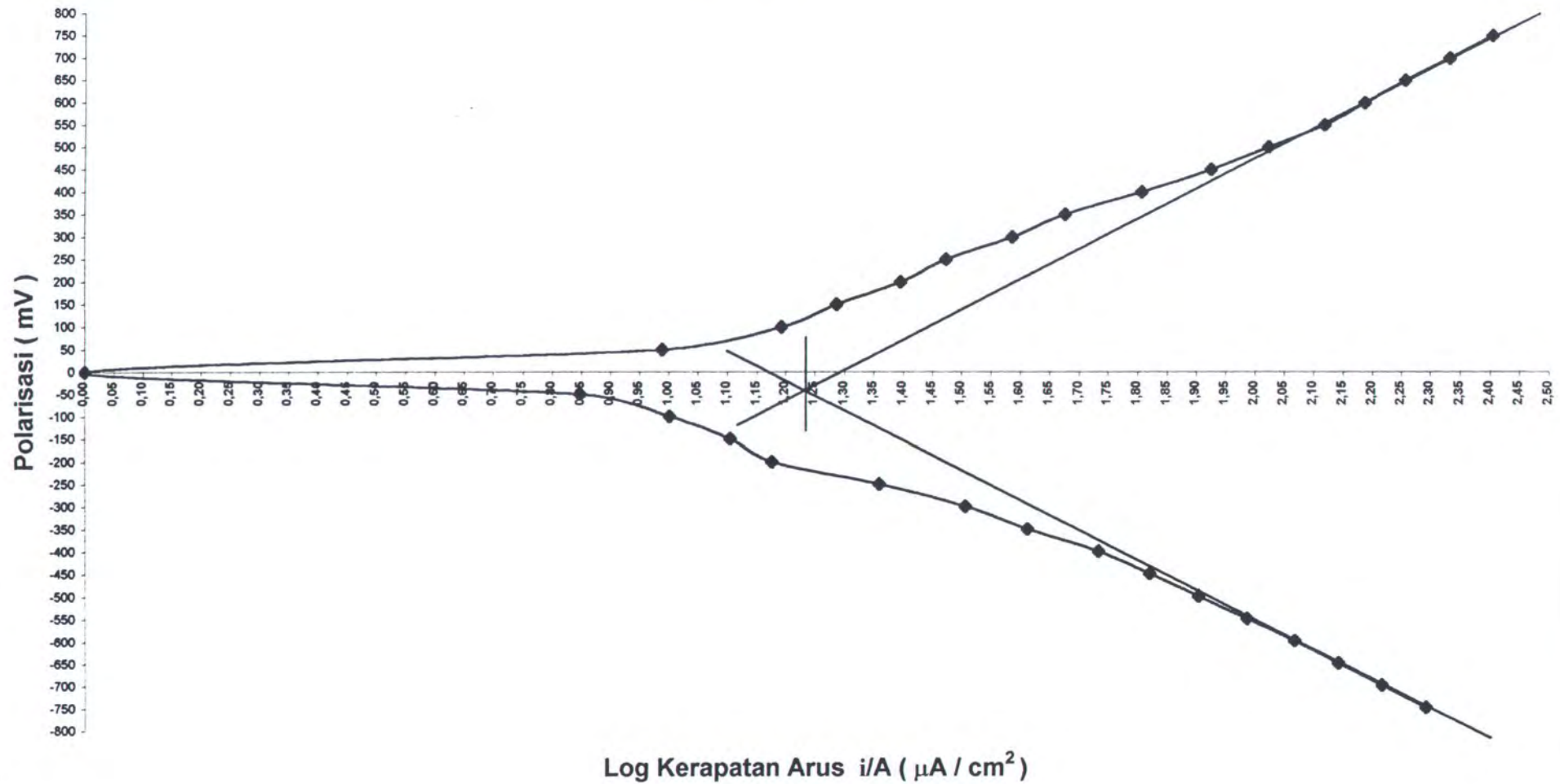


Data Hasil Percobaan

Lampiran 17 Data Percobaan Polarisasi Untuk Pengelasan Dengan Elektroda Kandungan Chromium Tinggi Pada Konsentrasi Larutan HCl 5% Dengan Luasan Spesimen 118,80 cm²

V (mV)	Data Percobaan XVII		i / A ($\mu\text{A} / \text{cm}^2$)	Log (i / A)
	i (mA)	i (μA)		
-750	23.25	23253.00	195.732	2.291663
-700	19.53	19530.00	164.394	2.215886
-650	16.46	16463.00	138.577	2.141693
-600	13.87	13870.00	116.751	2.067260
-550	11.51	11510.00	96.886	1.986259
-500	9.52	9520.00	80.135	1.903821
-450	7.86	7858.00	66.145	1.820496
-400	6.43	6426.00	54.091	1.733124
-350	4.86	4858.00	40.892	1.611641
-300	3.81	3810.00	32.071	1.506109
-250	2.71	2712.00	22.828	1.358473
-200	1.78	1780.00	14.983	1.175604
-150	1.51	1512.00	12.727	1.104735
-100	1.19	1190.00	10.017	1.000731
-50	0.84	835.00	7.029	0.846870
0	0.00	0.00	0.00	0.00
50	1.16	1156.00	9.731	0.988141
100	1.85	1850.00	15.572	1.192355
150	2.30	2296.00	19.327	1.286155
200	2.95	2948.00	24.815	1.394711
250	3.53	3530.00	29.714	1.472958
300	4.57	4570.00	38.468	1.585100
350	5.63	5626.00	47.357	1.675383
400	7.60	7600.00	63.973	1.805997
450	9.97	9968.00	83.906	1.923792
500	12.50	12495.00	105.177	2.021920
550	15.55	15550.00	130.892	2.116914
600	18.18	18180.00	153.030	2.184777
650	21.20	21200.00	178.451	2.251519
700	25.40	25400.00	213.805	2.330017
750	29.76	29760.00	250.505	2.398816

Gambar 17 Polarisasi Pada Pengelasan Elektroda Kandungan Chromium Tinggi Dengan Konsentrasi Larutan HCl 5%

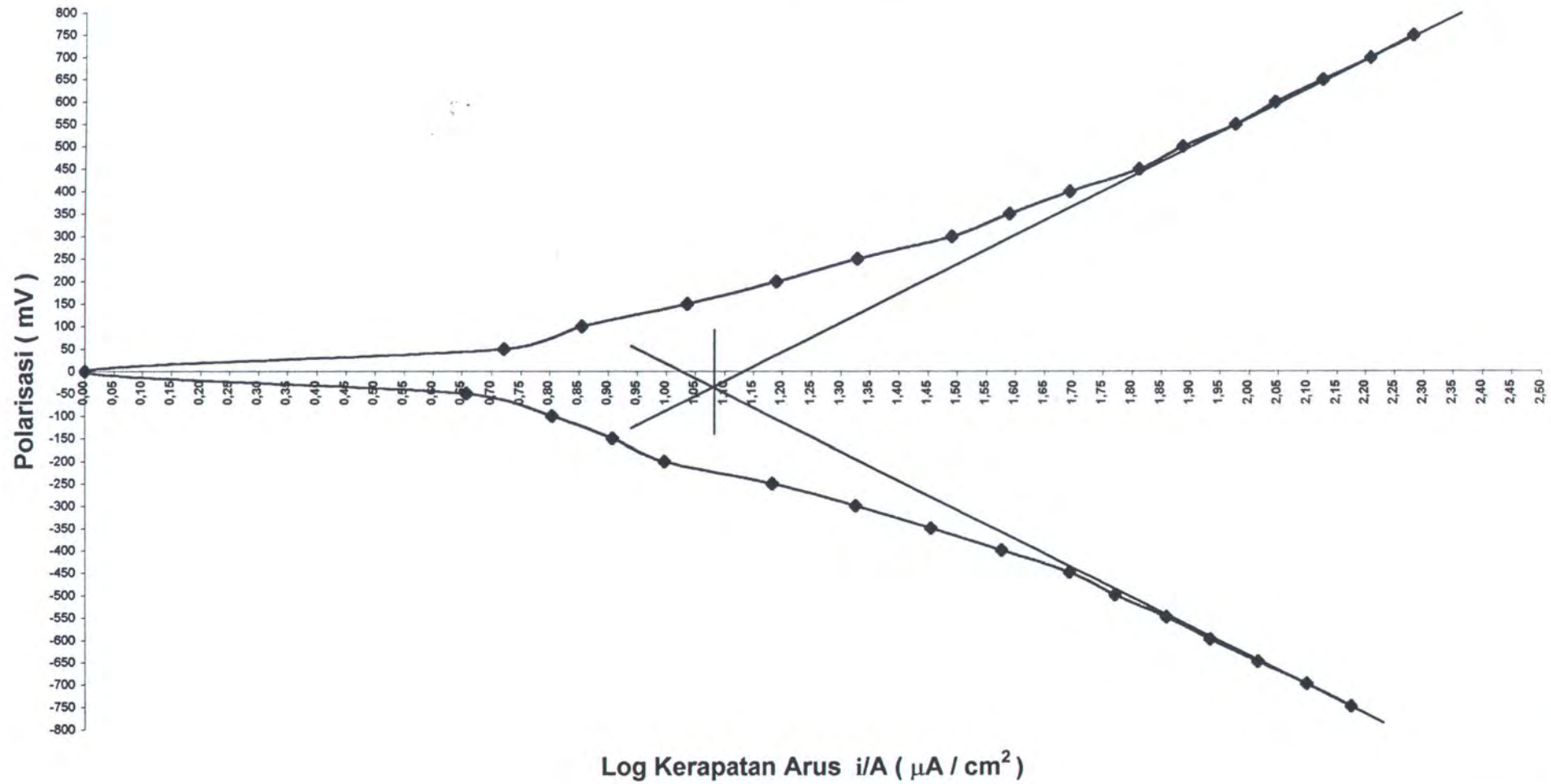


Data Hasil Percobaan

Lampiran 18 Data Percobaan Polarisasi Untuk Pengelasan Dengan Elektroda Kandungan Chromium Tinggi Pada Konsentrasi Larutan HCl 5% Dengan Luasan Spesimen 118,80 cm²

V (mV)	Data Percobaan XVIII		i / A ($\mu\text{A} / \text{cm}^2$)	Log (i / A)
	i (mA)	i (μA)		
-750	17.65	17650.000	148.5690	2.171928
-700	14.83	14825.000	124.7896	2.096178
-650	12.24	12240.000	103.0303	2.012965
-600	10.16	10160.000	85.5219	1.932077
-550	8.55	8551.000	71.9781	1.857200
-500	6.98	6982.000	58.7710	1.769163
-450	5.84	5840.000	49.1582	1.691596
-400	4.46	4460.000	37.5421	1.574518
-350	3.38	3380.000	28.4512	1.454100
-300	2.51	2510.000	21.1279	1.324857
-250	1.81	1812.000	15.2525	1.183342
-200	1.18	1178.000	9.9158	0.996329
-150	0.96	960.000	8.0808	0.907455
-100	0.76	756.000	6.3636	0.803705
-50	0.54	540.000	4.5455	0.657577
0	0.00	0.00	0.00	0.00
50	0.63	625.000	5.2609	0.721064
100	0.85	850.000	7.1549	0.854602
150	1.29	1290.000	10.8586	1.035773
200	1.84	1840.000	15.4882	1.190001
250	2.53	2530.000	21.2963	1.328304
300	3.67	3670.000	30.8923	1.489850
350	4.62	4616.000	38.8552	1.589449
400	5.86	5860.000	49.3266	1.693081
450	7.70	7696.000	64.7811	1.811449
500	9.15	9150.000	77.0202	1.886605
550	11.25	11250.000	94.6970	1.976336
600	13.14	13140.000	110.6061	2.043779
650	15.83	15830.000	133.2492	2.124664
700	19.14	19140.000	161.1111	2.207125
750	22.66	22660.000	190.7407	2.280443

Gambar 18 Polarisasi Pada Pengelasan Elektroda Kandungan Chromium Tinggi Dengan Konsentrasi Larutan HCl 5%

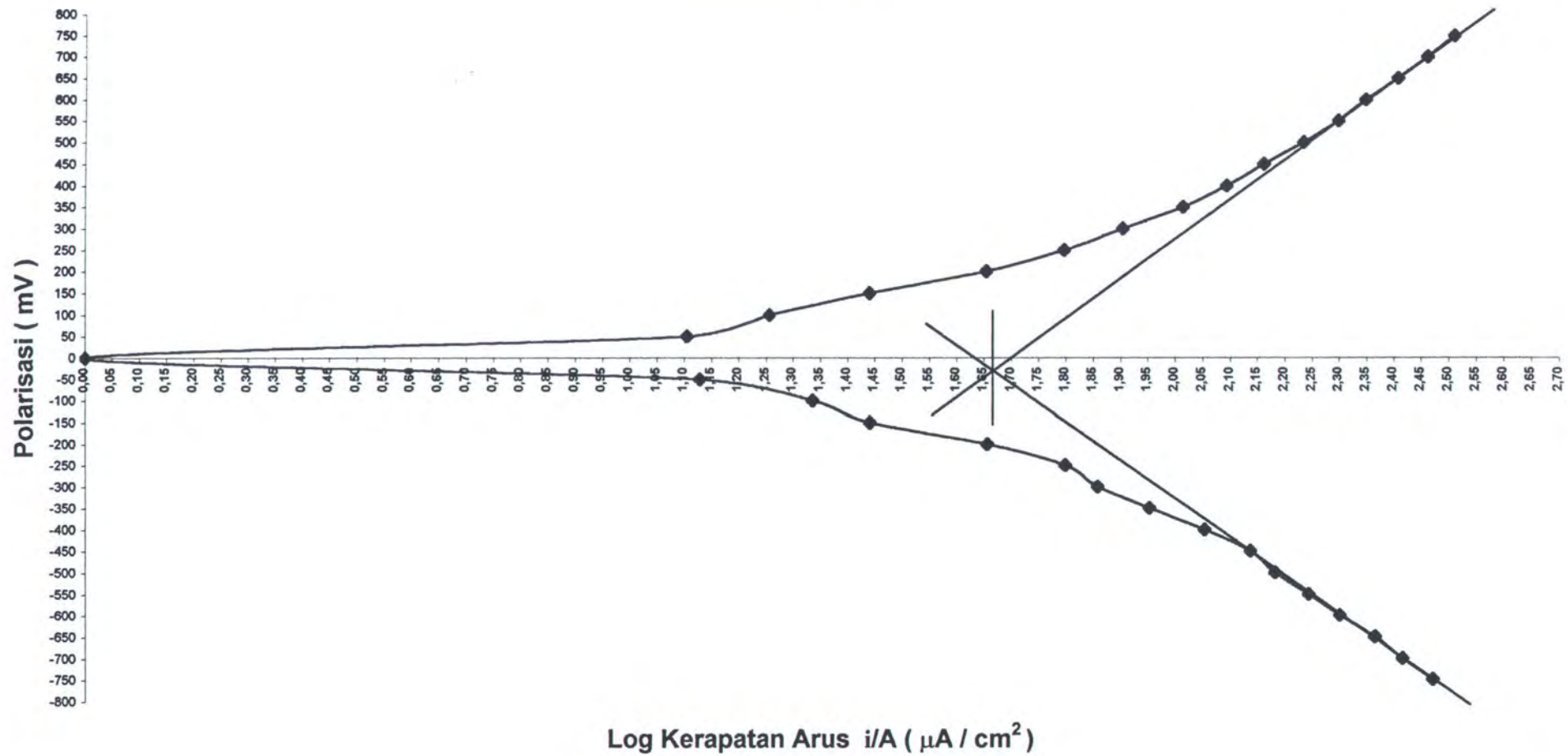


Data Hasil Percobaan

Lampiran 19 Data Percobaan Polarisasi Untuk Pengelasan Dengan Elektroda Kandungan Chromium Tinggi Pada Konsentrasi Larutan HCl 10% Dengan Luasan Spesimen 118,80 cm²

V (mV)	Data Percobaan XIX		i / A ($\mu\text{A} / \text{cm}^2$)	Log (i / A)
	i (mA)	i (μA)		
-750	35.04	35040.000	294.9495	2.469748
-700	30.85	30850.000	259.6801	2.414439
-650	27.45	27450.000	231.0606	2.363726
-600	23.67	23670.000	199.2424	2.299382
-550	20.76	20760.000	174.7475	2.242411
-500	18.04	18040.000	151.8519	2.181420
-450	16.24	16240.000	136.7003	2.135770
-400	13.40	13400.000	112.7946	2.052288
-350	10.64	10640.000	89.5623	1.952125
-300	8.55	8550.000	71.9697	1.857150
-250	7.46	7460.000	62.7946	1.797922
-200	5.37	5370.000	45.2020	1.655158
-150	3.28	3280.000	27.6094	1.441057
-100	2.57	2570.000	21.6330	1.335117
-50	1.60	1595.000	13.4259	1.127944
0	0.00	0.00	0.00	0.00
50	1.51	1510.000	12.7104	1.104161
100	2.14	2140.000	18.0135	1.255597
150	3.27	3270.000	27.5253	1.439731
200	5.35	5350.000	45.0337	1.653537
250	7.44	7440.000	62.6263	1.796756
300	9.52	9520.000	80.1347	1.903821
350	12.26	12260.000	103.1987	2.013674
400	14.71	14710.000	123.8215	2.092796
450	17.23	17230.000	145.0337	2.161469
500	20.32	20320.000	171.0438	2.233107
550	23.55	23550.000	198.2323	2.297174
600	26.44	26440.000	222.5589	2.347445
650	30.28	30280.000	254.8822	2.406339
700	34.26	34260.000	288.3838	2.459971
750	38.35	38350.000	322.8114	2.508949

Gambar 19 Polarisasi Pada Pengelasan Elektroda Kandungan Chromium Tinggi Dengan Luasan
 Spesimen 118,80 cm² Pada Konsentrasi
 Larutan HCl 10%

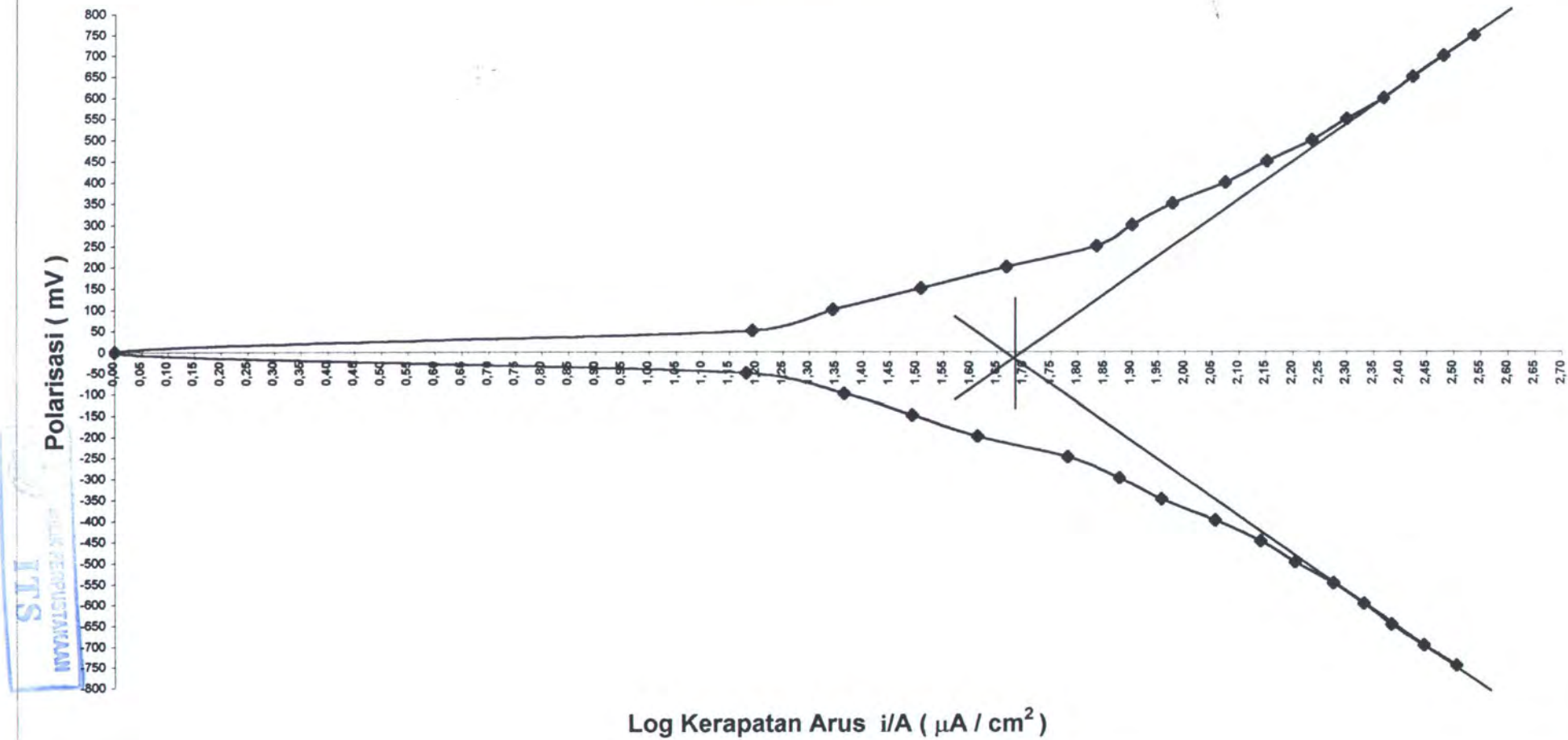


Data Hasil Percobaan

Lampiran 20 Data Percobaan Polarisasi Untuk Pengelasan Dengan Elektroda Kandungan Chromium Tinggi Pada Konsentrasi Larutan HCl 10% Dengan Luasan Spesimen 118,80 cm²

V (mV)	Data Percobaan XX		i / A ($\mu\text{A} / \text{cm}^2$)	Log (i / A)
	i (mA)	i (μA)		
-750	37.91	37910.000	319.1077	2.503937
-700	32.94	32940.000	277.2727	2.442907
-650	28.64	28640.000	241.0774	2.382157
-600	25.42	25420.000	213.9731	2.330359
-550	22.36	22360.000	188.2155	2.274655
-500	18.98	18980.000	159.7643	2.203480
-450	16.38	16380.000	137.8788	2.139497
-400	13.48	13480.000	113.4680	2.054873
-350	10.72	10720.000	90.2357	1.955378
-300	8.95	8950.000	75.3367	1.877007
-250	7.16	7160.000	60.2694	1.780097
-200	4.87	4870.000	40.9933	1.612713
-150	3.68	3680.000	30.9764	1.491031
-100	2.75	2750.000	23.1481	1.364516
-50	1.80	1800.000	15.1515	1.180456
0	0.00	0.00	0.00	0.00
50	1.85	1850.000	15.5724	1.192355
100	2.62	2620.000	22.0539	1.343485
150	3.82	3820.000	32.1549	1.507247
200	5.53	5530.000	46.5488	1.667909
250	8.12	8120.000	68.3502	1.834740
300	9.45	9450.000	79.5455	1.900615
350	11.26	11260.000	94.7811	1.976722
400	14.11	14110.000	118.7710	2.074711
450	16.82	16820.000	141.5825	2.151010
500	20.41	20410.000	171.8013	2.235027
550	23.64	23640.000	198.9899	2.298831
600	27.68	27680.000	232.9966	2.367350
650	31.42	31420.000	264.4781	2.422390
700	35.82	35820.000	301.5152	2.479309
750	40.87	40870.000	344.0236	2.536588

Gambar 20 Polarisasi Pada Pengelasan Elektroda Kandungan Chromium Tinggi Dengan Luasan
 Spesimen 118,80 cm² Pada Konsentrasi
 Larutan HCl 10%

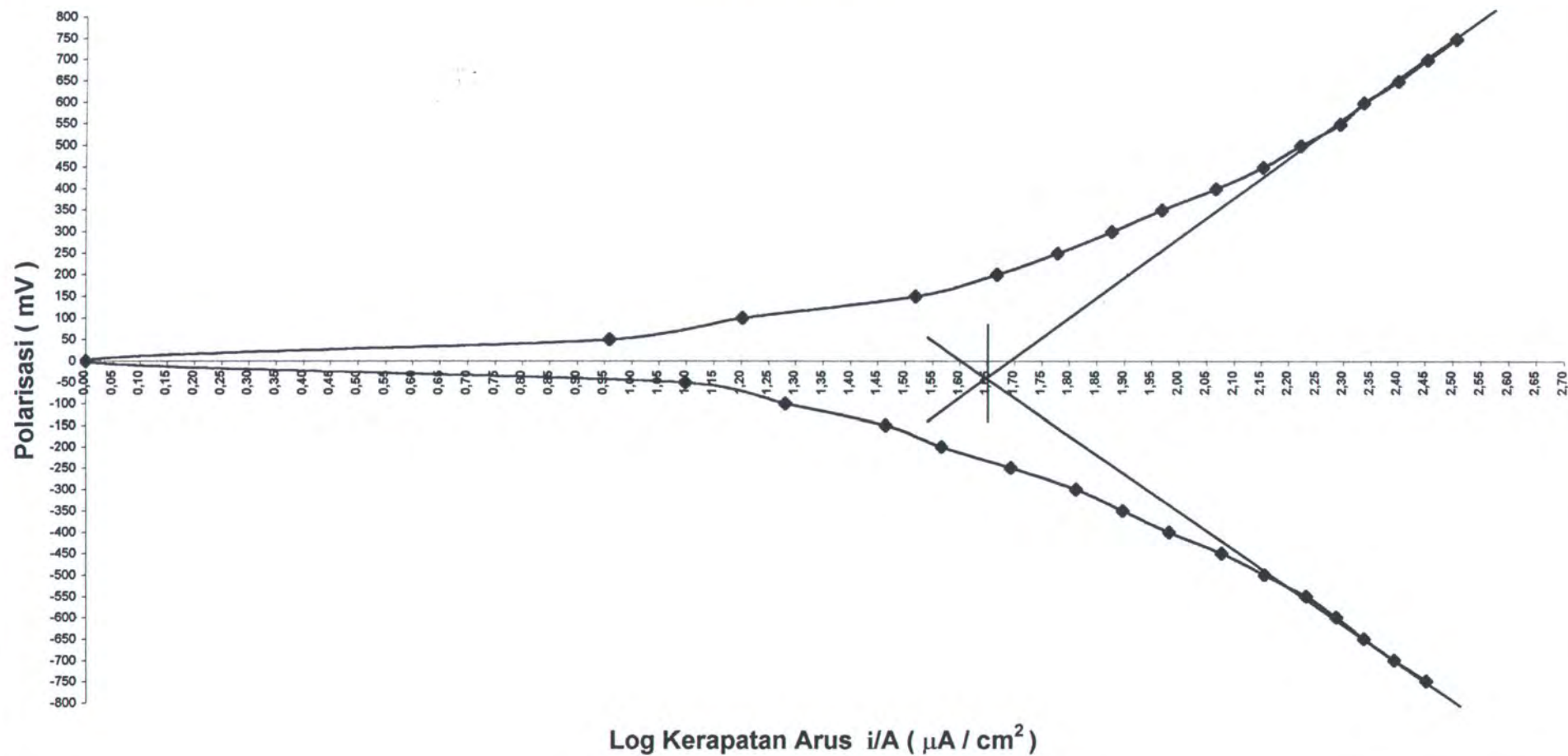


Data Hasil Percobaan

Lampiran 21 Data Percobaan Polarisasi Untuk Pengelasan Dengan Elektroda Kandungan Chromium Tinggi Pada Konsentrasi Larutan HCl 10% Dengan Luasan Spesimen 118,80 cm²

V (mV)	Data Percobaan XXI		i / A ($\mu\text{A} / \text{cm}^2$)	Log (i / A)
	i (mA)	i (μA)		
-750	33.87	33870.00	285.1010	2.454999
-700	29.34	29340.00	246.9697	2.392644
-650	25.76	25760.00	216.8350	2.336129
-600	22.94	22940.00	193.0976	2.285777
-550	20.23	20230.00	170.2862	2.231179
-500	16.98	16980.00	142.9293	2.155121
-450	14.18	14180.00	119.3603	2.076860
-400	11.38	11380.00	95.7912	1.981326
-350	9.37	9370.00	78.8721	1.896923
-300	7.71	7710.00	64.8990	1.812238
-250	5.86	5860.00	49.3266	1.693081
-200	4.38	4380.00	36.8687	1.566658
-150	3.46	3460.00	29.1246	1.464260
-100	2.27	2270.00	19.1077	1.281209
-50	1.49	1490.00	12.5421	1.098370
0	0.00	0.00	0.00	0.00
50	1.08	1080.00	9.0909	0.958607
100	1.89	1890.00	15.9091	1.201645
150	3.92	3920.00	32.9966	1.518470
200	5.53	5530.00	46.5488	1.667909
250	7.12	7120.00	59.9327	1.777664
300	8.94	8940.00	75.2525	1.876521
350	11.03	11030.00	92.8451	1.967759
400	13.81	13810.00	116.2458	2.065377
450	16.82	16820.00	141.5825	2.151010
500	19.74	19740.00	166.1616	2.220531
550	23.23	23230.00	195.5387	2.291233
600	25.68	25680.00	216.1616	2.334779
650	29.74	29740.00	250.3367	2.398525
700	33.62	33620.00	282.9966	2.451781
750	37.84	37840.00	318.5185	2.503135

Gambar 21 Polarisasi Pada Pengelasan Elektroda Kandungan Chromium Tinggi Dengan Luasan
 Spesimen 118,80 cm² Pada Konsentrasi
 Larutan HCl 10%

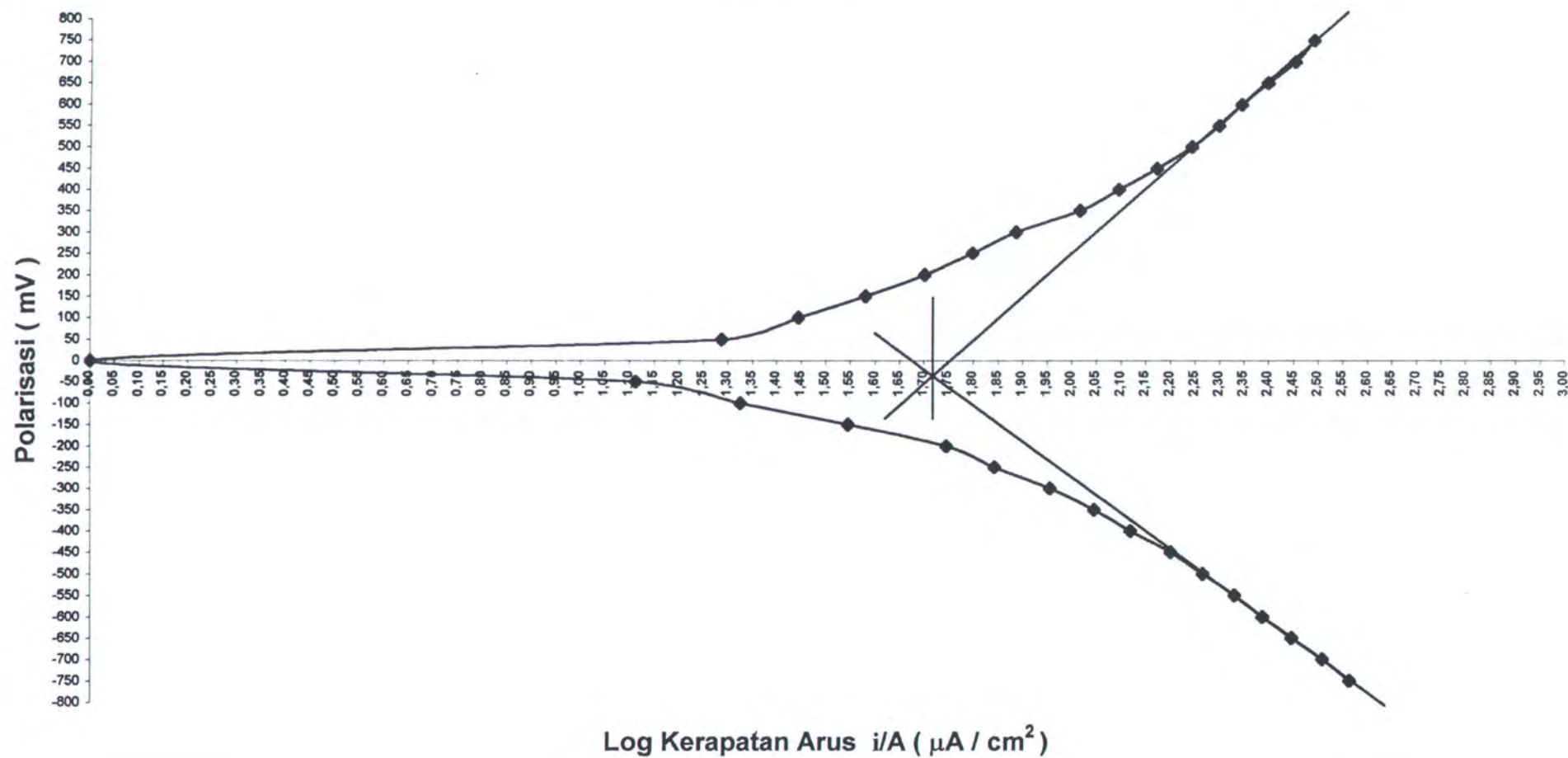


Data Hasil Percobaan

Lampiran 22 Data Percobaan Polarisasi Untuk Pengelasan Dengan Elektroda Kandungan Chromium Tinggi Pada Konsentrasi Larutan HCl 10% Dengan Luasan Spesimen **150,40 cm²**

V (mV)	Data Percobaan XXII		i / A ($\mu\text{A} / \text{cm}^2$)	Log (i / A)
	i (mA)	i (μA)		
-750	54.73	54730.00	363.8963	2.560978
-700	48.25	48250.00	320.8112	2.506249
-650	41.85	41850.00	278.2580	2.444448
-600	36.63	36630.00	243.5505	2.386589
-550	32.12	32120.00	213.5638	2.329528
-500	27.64	27640.00	183.7766	2.264290
-450	23.82	23820.00	158.3777	2.199694
-400	19.73	19730.00	131.1835	2.117879
-350	16.64	16640.00	110.6383	2.043905
-300	13.55	13550.00	90.0931	1.954691
-250	10.46	10460.00	69.5479	1.842284
-200	8.37	8370.00	55.6516	1.745478
-150	5.28	5280.00	35.1064	1.545386
-100	3.18	3180.00	21.1436	1.325179
-50	1.95	1950.00	12.9654	1.112787
0	0.00	0.00	0.00	0.00
50	2.91	2910.00	19.3484	1.286645
100	4.18	4180.00	27.7926	1.443928
150	5.72	5720.00	38.0319	1.580148
200	7.56	7560.00	50.2660	1.701274
250	9.45	9450.00	62.8324	1.798184
300	11.58	11580.00	76.9947	1.886461
350	15.62	15620.00	103.8564	2.016433
400	18.71	18710.00	124.4016	2.094826
450	22.38	22380.00	148.8032	2.172612
500	26.33	26330.00	175.0665	2.243203
550	29.89	29890.00	198.7367	2.298278
600	33.29	33290.00	221.3431	2.345066
650	37.64	37640.00	250.2660	2.398402
700	42.64	42640.00	283.5106	2.452569
750	46.53	46530.00	309.3750	2.490485

Gambar 22 Polarisasi Pada Pengelasan Elektroda Kandungan Chromium Tinggi Dengan Luasan
 Spesimen 150,40 cm² Pada Konsentrasi
 Larutan HCl 10%

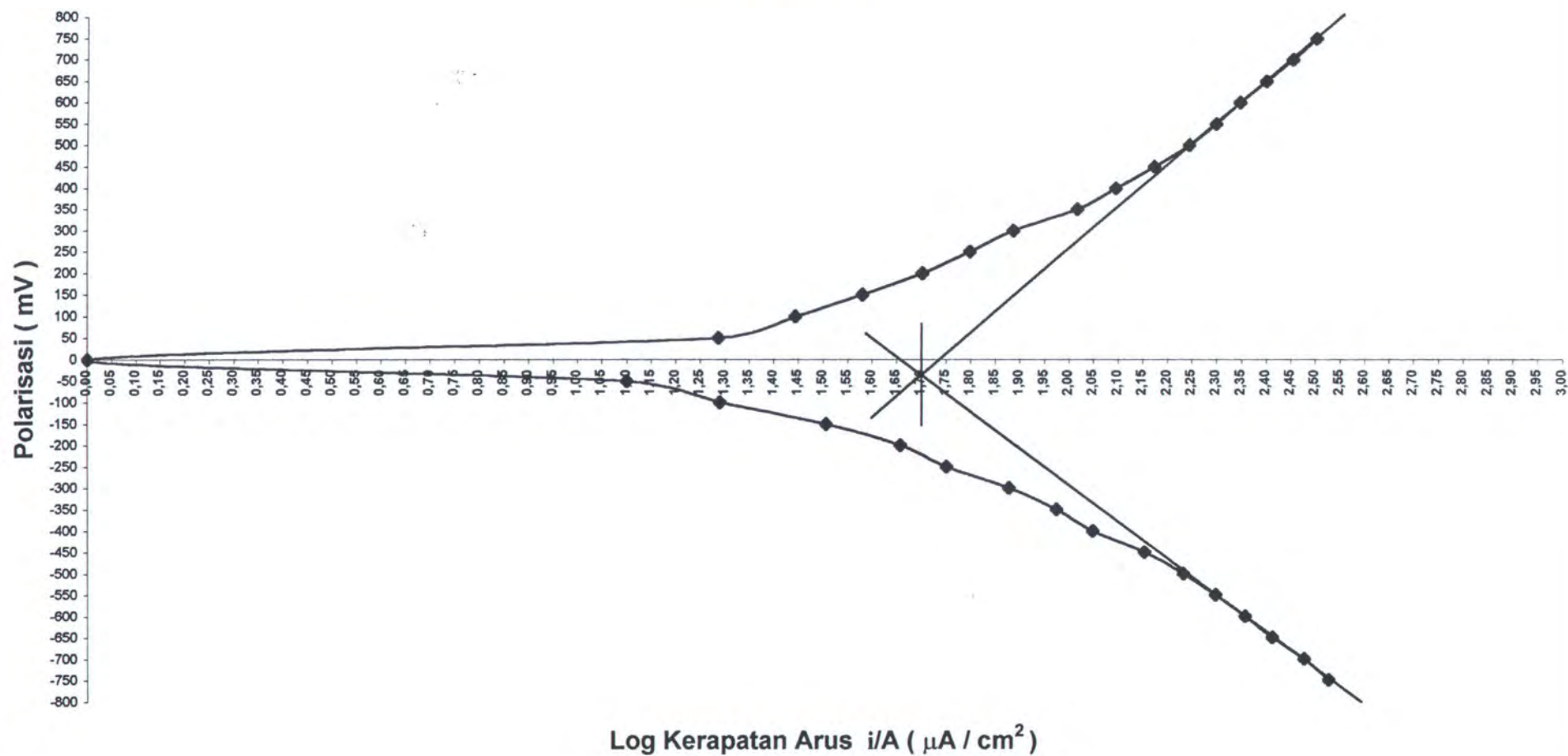


Data Hasil Percobaan

Lampiran 23 Data Percobaan Polarisasi Untuk Pengelasan Dengan Elektroda Kandungan Chromium Tinggi Pada Konsentrasi Larutan HCl 10% Dengan Luasan Spesimen **150,40 cm²**

V (mV)	Data Percobaan XXIII		i / A ($\mu\text{A} / \text{cm}^2$)	Log (i / A)
	i (mA)	i (μA)		
-750	50.47	50470.00	335.5718	2.525785
-700	44.98	44980.00	299.0691	2.475772
-650	38.74	38740.00	257.5798	2.410912
-600	34.15	34150.00	227.0612	2.356143
-550	29.83	29830.00	198.3378	2.297405
-500	25.67	25670.00	170.6782	2.232178
-450	21.38	21380.00	142.1543	2.152760
-400	16.79	16790.00	111.6356	2.047803
-350	14.15	14150.00	94.0824	1.973509
-300	11.35	11350.00	75.4654	1.877748
-250	8.46	8460.00	56.2500	1.750123
-200	6.83	6830.00	45.4122	1.657173
-150	4.82	4820.00	32.0479	1.505799
-100	2.93	2930.00	19.4814	1.289620
-50	1.89	1890.00	12.5665	1.099214
0	0.00	0.00	0.00	0.00
50	2.91	2910.00	19.3484	1.286645
100	4.18	4180.00	27.7926	1.443928
150	5.72	5720.00	38.0319	1.580148
200	7.56	7560.00	50.2660	1.701274
250	9.45	9450.00	62.8324	1.798184
300	11.58	11580.00	76.9947	1.886461
350	15.62	15620.00	103.8564	2.016433
400	18.71	18710.00	124.4016	2.094826
450	22.38	22380.00	148.8032	2.172612
500	26.33	26330.00	175.0665	2.243203
550	29.89	29890.00	198.7367	2.298278
600	33.29	33290.00	221.3431	2.345066
650	37.64	37640.00	250.2660	2.398402
700	42.64	42640.00	283.5106	2.452569
750	44.65	44650.00	296.8750	2.472574

Gambar 23 Polarisasi Pada Pengelasan Elektroda Kandungan Chromium Tinggi Dengan Luasan
Spesimen 150,40 cm² Pada Konsentrasi
Larutan HCl 10%

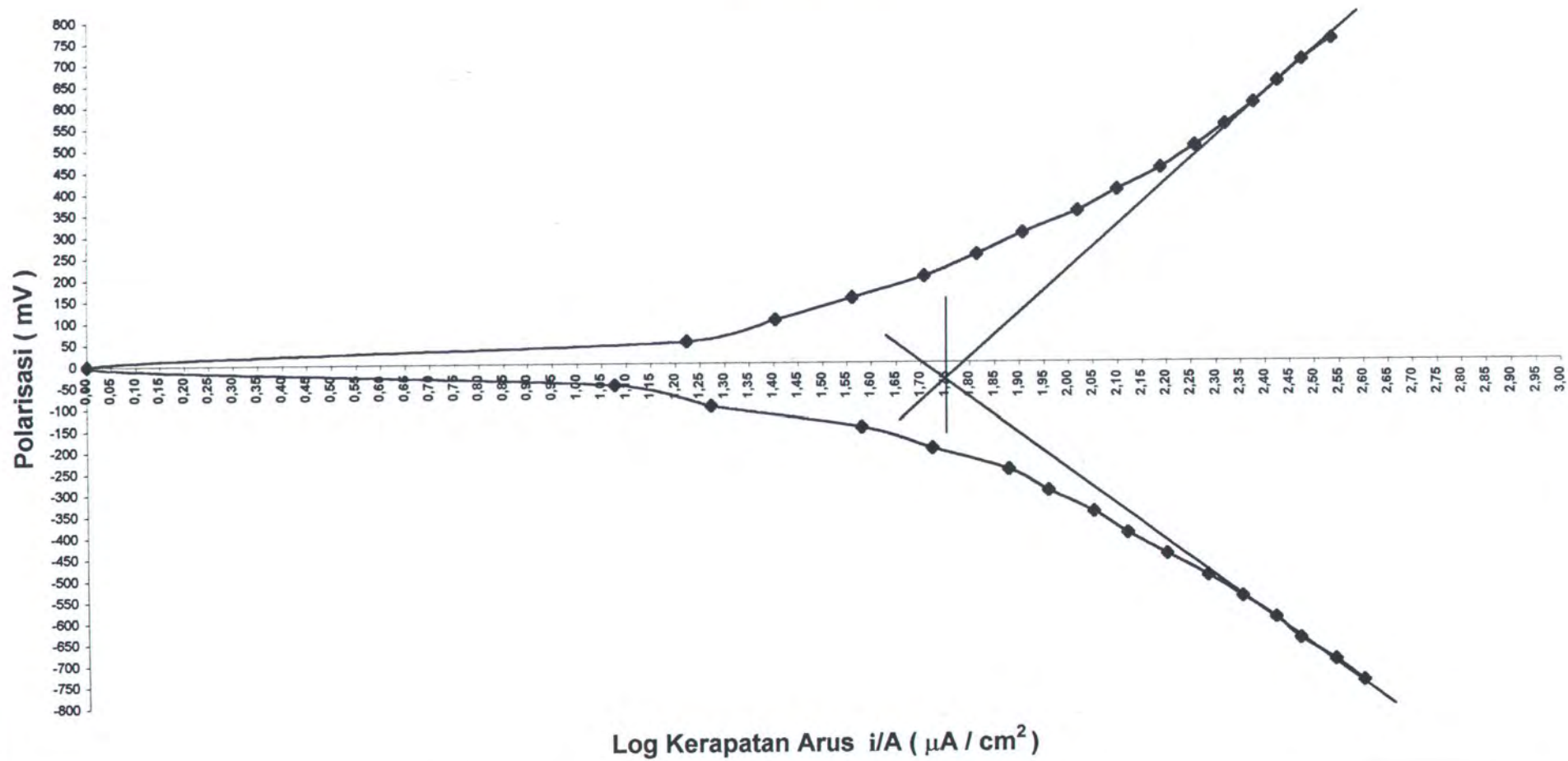


Data Hasil Percobaan

Lampiran 24 Data Percobaan Polarisasi Untuk Pengelasan Dengan Elektroda Kandungan Chromium Tinggi Pada Konsentrasi Larutan HCl 10% Dengan Luasan Spesimen **150,40 cm²**

V (mV)	Data Percobaan XXIV		i / A ($\mu\text{A} / \text{cm}^2$)	Log (i / A)
	i (mA)	i (μA)		
-750	59.47	59470.00	395.4122	2.597050
-700	52.04	52040.00	346.0106	2.539089
-650	44.21	44210.00	293.9495	2.468273
-600	39.40	39400.00	261.9681	2.418248
-550	33.71	33710.00	224.1356	2.350511
-500	28.74	28740.00	191.0904	2.281239
-450	23.82	23820.00	158.3777	2.199694
-400	19.75	19750.00	131.3165	2.118319
-350	16.86	16860.00	112.1011	2.049610
-300	13.65	13650.00	90.7580	1.957885
-250	11.34	11340.00	75.3989	1.877365
-200	7.93	7930.00	52.7261	1.722025
-150	5.72	5720.00	38.0319	1.580148
-100	2.81	2810.00	18.6835	1.271458
-50	1.79	1790.00	11.9016	1.075605
0	0.00	0.00	0.00	0.00
50	2.51	2510.00	16.6888	1.222426
100	3.81	3810.00	25.3324	1.403677
150	5.47	5470.00	36.3697	1.560739
200	7.66	7660.00	50.9309	1.706981
250	9.81	9810.00	65.2261	1.814421
300	12.15	12150.00	80.7846	1.907328
350	15.72	15720.00	104.5213	2.019205
400	18.91	18910.00	125.7314	2.099444
450	23.23	23230.00	154.4548	2.188801
500	27.26	27260.00	181.2500	2.258278
550	31.29	31290.00	208.0452	2.318158
600	35.73	35730.00	237.5665	2.375785
650	39.97	39970.00	265.7580	2.424486
700	44.85	44850.00	298.2048	2.474515
750	51.46	51460.00	342.1543	2.534222

Gambar 24 Polarisasi Pada Pengelasan Elektroda Kandungan Chromium Tinggi Dengan Luasan
Spesimen $150,40 \text{ cm}^2$ Pada Konsentrasi
Larutan HCl 10%

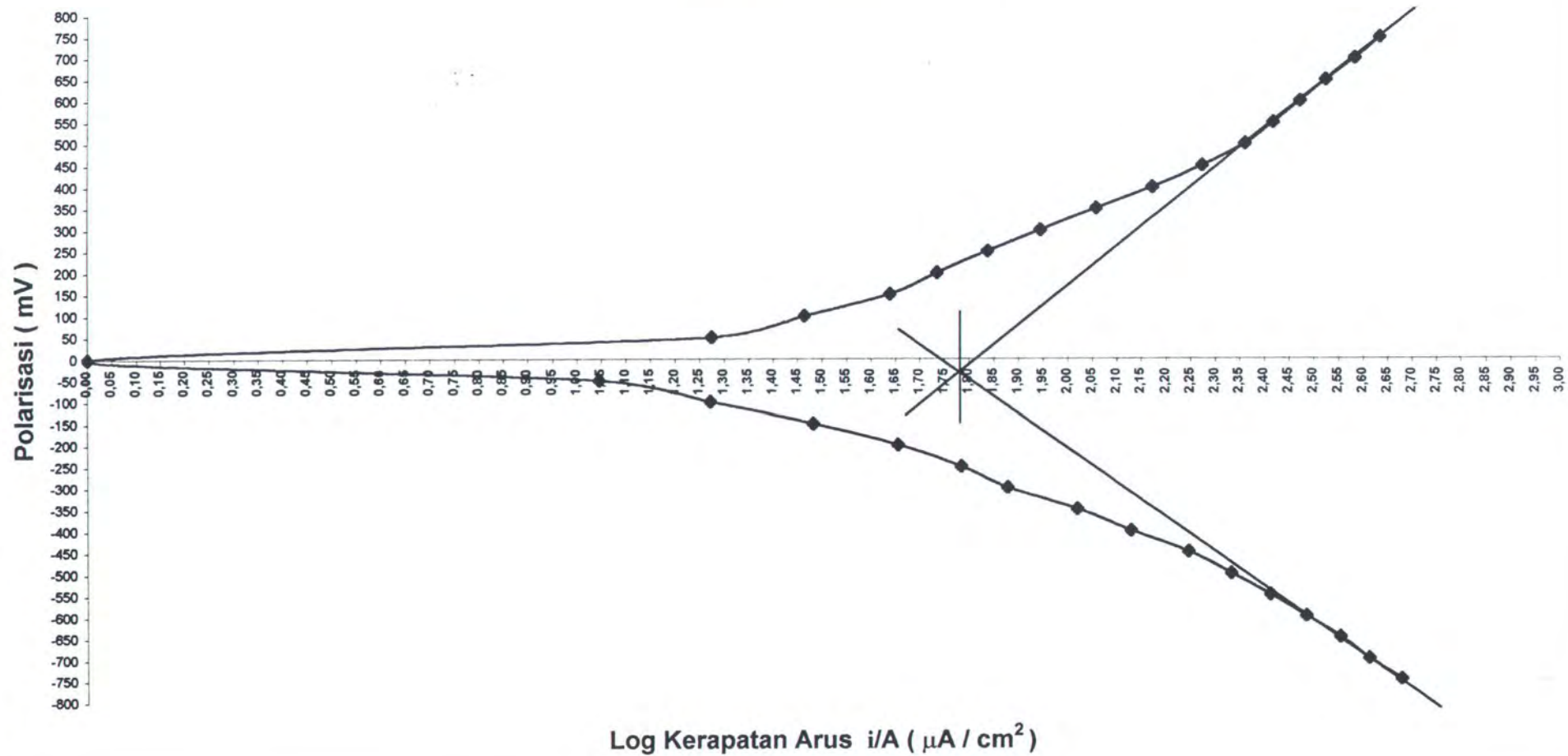


Data Hasil Percobaan

Lampiran 25 Data Percobaan Polarisasi Untuk Pengelasan Dengan Elektroda Kandungan Chromium Tinggi Pada Konsentrasi Larutan HCl 10% Dengan Luasan Spesimen **182,0 cm²**

V (mV)	Data Percobaan XXV		i / A ($\mu\text{A} / \text{cm}^2$)	Log (i / A)
	i (mA)	i (μA)		
-750	72.59	72590.00	482.6463	2.683629
-700	61.82	61820.00	411.0372	2.613881
-650	53.57	53570.00	356.1835	2.551674
-600	45.73	45730.00	304.0559	2.482953
-550	38.73	38730.00	257.5133	2.410800
-500	32.28	32280.00	214.6277	2.331686
-450	26.38	26380.00	175.3989	2.244027
-400	20.19	20190.00	134.2420	2.127888
-350	15.68	15680.00	104.2553	2.018098
-300	11.35	11350.00	75.4654	1.877748
-250	9.13	9130.00	60.7048	1.783223
-200	6.79	6790.00	45.1463	1.654622
-150	4.57	4570.00	30.3856	1.482668
-100	2.81	2810.00	18.6835	1.271458
-50	1.67	1670.00	11.1037	1.045469
0	0.00	0.00	0.00	0.00
50	2.83	2830.00	18.8165	1.274539
100	4.38	4380.00	29.1223	1.464226
150	6.54	6540.00	43.4840	1.638330
200	8.17	8170.00	54.3218	1.734974
250	10.34	10340.00	68.7500	1.837273
300	13.21	13210.00	87.8324	1.943655
350	17.15	17150.00	114.0293	2.057016
400	22.34	22340.00	148.5372	2.171835
450	28.23	28230.00	187.6995	2.273463
500	34.52	34520.00	229.5213	2.360823
550	39.31	39310.00	261.3697	2.417255
600	44.56	44560.00	296.2766	2.471697
650	50.12	50120.00	333.2447	2.522763
700	57.44	57440.00	381.9149	2.581967
750	64.51	64510.00	428.9229	2.632379

Gambar 25 Polarisasi Pada Pengelasan Elektroda Kandungan Chromium Tinggi Dengan Luasan
 Spesimen $182,0 \text{ cm}^2$ Pada Konsentrasi
 Larutan HCl 10%

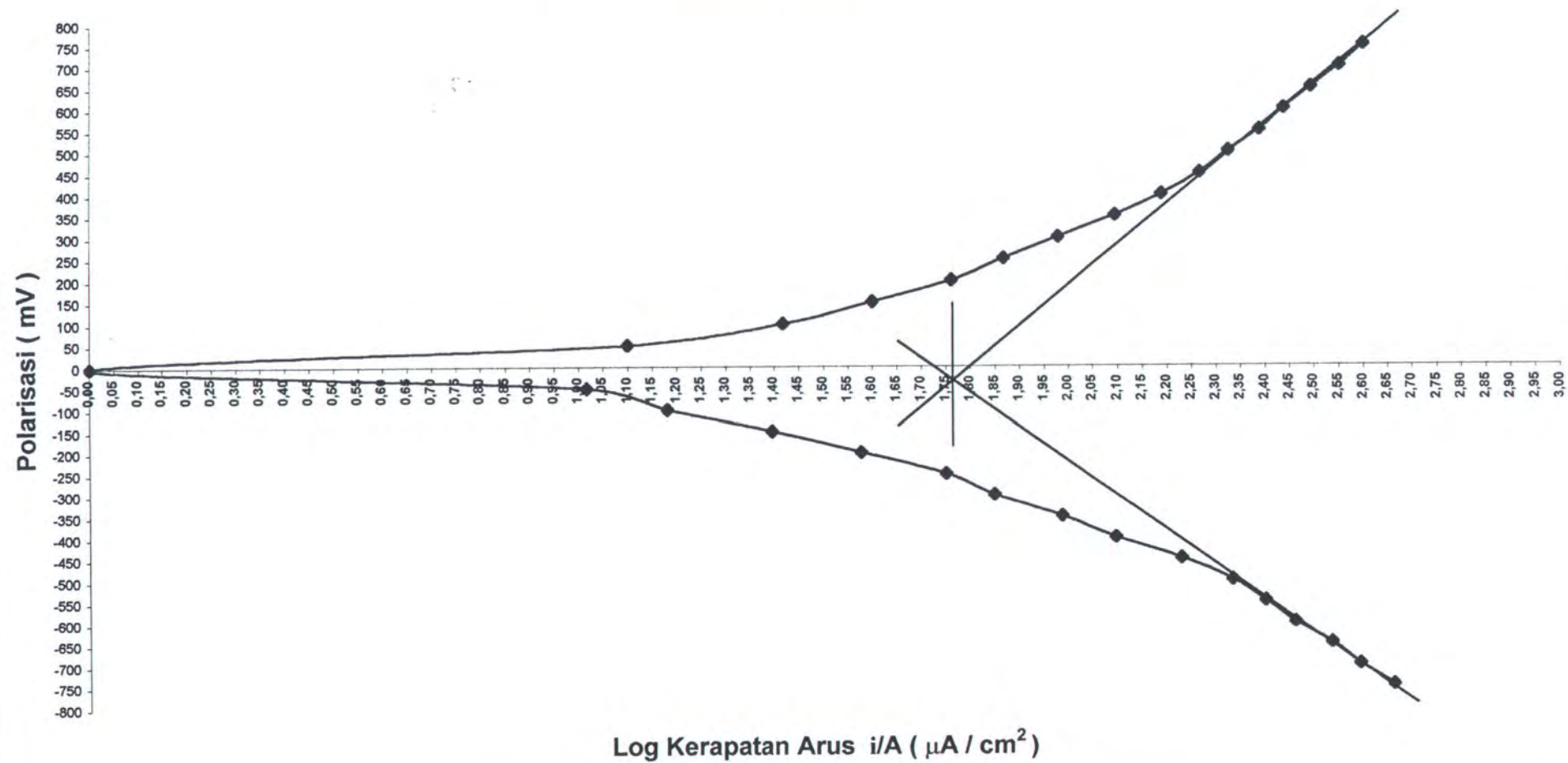


Data Hasil Percobaan

Lampiran 26 Data Percobaan Polarisasi Untuk Pengelasan Dengan Elektroda Kandungan Chromium Tinggi Pada Konsentrasi Larutan HCl 10% Dengan Luasan Spesimen **182,0 cm²**

V (mV)	Data Percobaan XXVI		i / A (μ A / cm ²)	Log (i / A)
	i (mA)	i (μ A)		
-750	68.72	68720.00	456.9149	2.659835
-700	58.47	58470.00	388.7633	2.589685
-650	51.35	51350.00	341.4229	2.533293
-600	43.25	43250.00	287.5665	2.458738
-550	37.68	37680.00	250.5319	2.398863
-500	32.28	32280.00	214.6277	2.331686
-450	25.38	25380.00	168.7500	2.227244
-400	18.72	18720.00	124.4681	2.095058
-350	14.56	14560.00	96.8085	1.985914
-300	10.59	10590.00	70.4122	1.847648
-250	8.45	8450.00	56.1835	1.749609
-200	5.67	5670.00	37.6995	1.576335
-150	3.74	3740.00	24.8670	1.395624
-100	2.28	2280.00	15.1596	1.180687
-50	1.56	1560.00	10.3723	1.015877
0	0.00	0.00	0.00	0.00
50	1.89	1890.00	12.5665	1.099214
100	3.94	3940.00	26.1968	1.418248
150	5.98	5980.00	39.7606	1.599453
200	8.67	8670.00	57.6463	1.760771
250	11.09	11090.00	73.7367	1.867684
300	14.32	14320.00	95.2128	1.978695
350	18.71	18710.00	124.4016	2.094826
400	23.23	23230.00	154.4548	2.188801
450	27.82	27820.00	184.9734	2.267109
500	31.82	31820.00	211.5691	2.325452
550	36.79	36790.00	244.6144	2.388482
600	41.24	41240.00	274.2021	2.438071
650	46.78	46780.00	311.0372	2.492812
700	53.45	53450.00	355.3856	2.550700
750	59.64	59640.00	396.5426	2.598290

Gambar 26 Polarisasi Pada Pengelasan Elektroda Kandungan Chromium Tinggi Dengan Luasan
 Spesimen $182,0 \text{ cm}^2$ Pada Konsentrasi
 Larutan HCl 10%

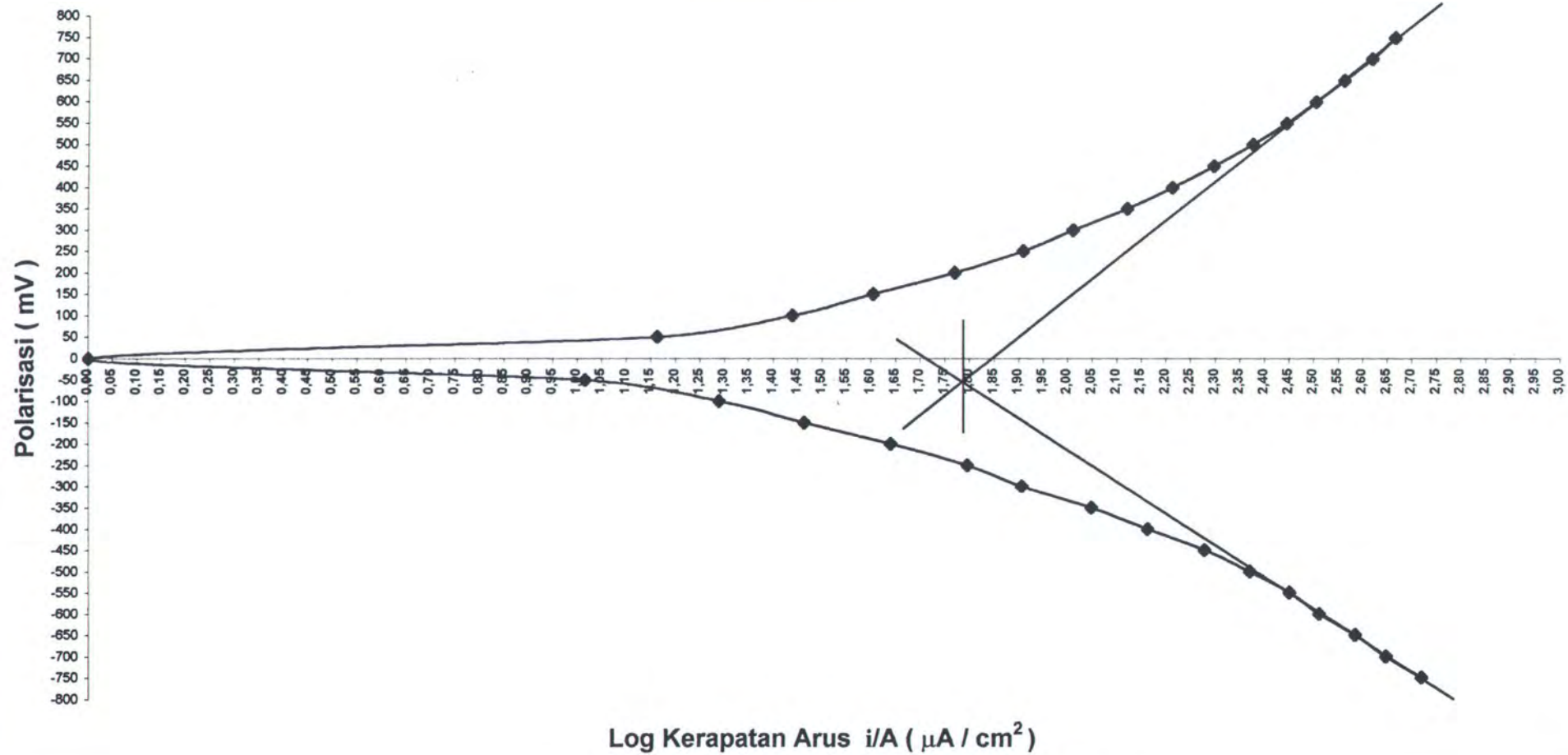


Data Hasil Percobaan

Lampiran 27 Data Percobaan Polarisasi Untuk Pengelasan Dengan Elektroda Kandungan Chromium Tinggi Pada Konsentrasi Larutan HCl 10% Dengan Luasan Spesimen **182,0 cm²**

V (mV)	Data Percobaan XXVII		i / A ($\mu\text{A} / \text{cm}^2$)	Log (i / A)
	i (mA)	i (μA)		
-750	78.67	78670.00	523.0718	2.718561
-700	66.58	66580.00	442.6862	2.646096
-650	57.65	57650.00	383.3112	2.583551
-600	48.73	48730.00	324.0027	2.510549
-550	42.38	42380.00	281.7819	2.449913
-500	35.22	35220.00	234.1755	2.369542
-450	28.53	28530.00	189.6941	2.278054
-400	21.87	21870.00	145.4122	2.162601
-350	16.74	16740.00	111.3032	2.046508
-300	12.09	12090.00	80.3856	1.905178
-250	9.38	9380.00	62.3670	1.794955
-200	6.56	6560.00	43.6170	1.639656
-150	4.37	4370.00	29.0559	1.463234
-100	2.92	2920.00	19.4149	1.288135
-50	1.56	1560.00	10.3723	1.015877
0	0.00	0.00	0.00	0.00
50	2.19	2190.00	14.5612	1.163196
100	4.13	4130.00	27.4601	1.438702
150	6.05	6050.00	40.2261	1.604508
200	8.86	8860.00	58.9096	1.770186
250	12.19	12190.00	81.0505	1.908756
300	15.43	15432.00	102.6064	2.011174
350	19.87	19870.00	132.1144	2.120950
400	24.53	24530.00	163.0984	2.212450
450	29.78	29780.00	198.0053	2.296677
500	35.71	35710.00	237.4335	2.375542
550	41.76	41760.00	277.6596	2.443513
600	47.89	47890.00	318.4176	2.502997
650	54.67	54670.00	363.4973	2.560501
700	62.35	62350.00	414.5612	2.617589
750	69.45	69450.00	461.7686	2.664424

Gambar 27 Polarisasi Pada Pengelasan Elektroda Kandungan Chromium Tinggi Dengan Luasan
 Spesimen 182,0 cm² Pada Konsentrasi
 Larutan HCl 10%

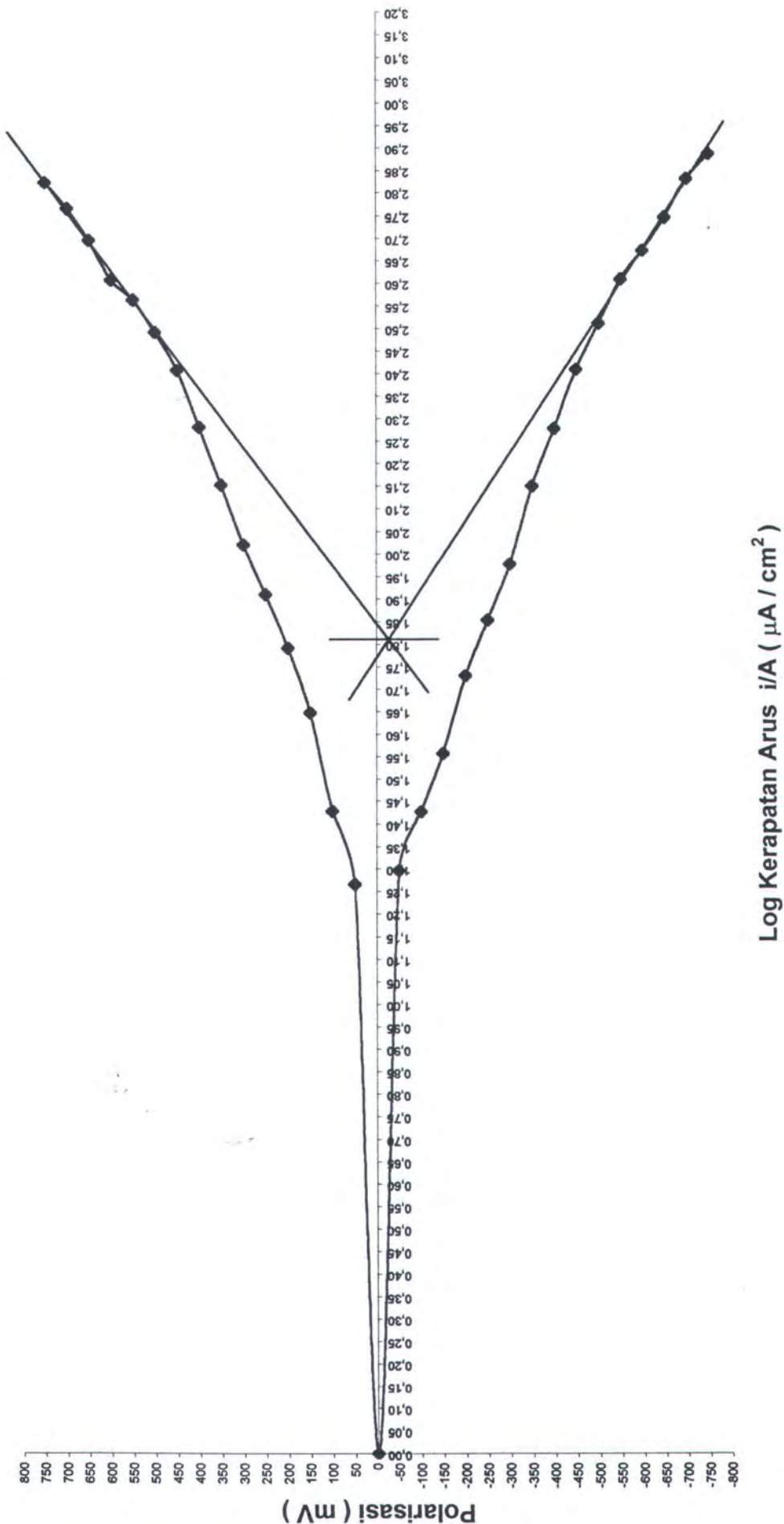


Data Hasil Percobaan

Lampiran 28 Data Percobaan Polarisasi Untuk Pengelasan Dengan Elektroda Kandungan Chromium Tinggi Pada Konsentrasi Larutan HCl 15% Dengan Luasan Spesimen 118,80 cm²

V (mV)	Data Percobaan XXVIII		i / A ($\mu\text{A} / \text{cm}^2$)	Log (i / A)
	i (mA)	i (μA)		
-750	91.24	91240.00	768.0135	2.885369
-700	80.24	80240.00	675.4209	2.829574
-650	65.79	65790.00	553.7879	2.743343
-600	55.67	55670.00	468.6027	2.670805
-550	47.99	47990.00	403.9562	2.606334
-500	38.40	38400.00	323.2323	2.509515
-450	30.38	30380.00	255.7239	2.407771
-400	22.46	22460.00	189.0572	2.276593
-350	16.76	16760.00	141.0774	2.149458
-300	11.25	11250.00	94.6970	1.976336
-250	8.46	8460.00	71.2121	1.852554
-200	6.37	6370.00	53.6195	1.729323
-150	4.28	4280.00	36.0269	1.556627
-100	3.17	3170.00	26.6835	1.426243
-50	2.35	2350.00	19.7811	1.296251
0	0.00	0.00	0.00	0.00
50	2.19	2190.00	18.4343	1.265628
100	3.18	3180.00	26.7677	1.427611
150	5.27	5270.00	44.3603	1.646994
200	7.35	7350.00	61.8687	1.791471
250	9.64	9640.00	81.1448	1.909261
300	12.45	12450.00	104.7980	2.020353
350	16.86	16860.00	141.9192	2.152041
400	22.67	22670.00	190.8249	2.280635
450	30.28	30280.00	254.8822	2.406339
500	36.79	36790.00	309.6801	2.490913
550	43.39	43390.00	365.2357	2.562573
600	47.97	47971.00	403.7963	2.606162
650	58.79	58790.00	494.8653	2.694487
700	68.97	68971.00	580.5640	2.763850
750	78.81	78810.00	663.3838	2.821765

Gambar 28 Polarisasi Pada Pengelasan Elektroda Kandungan Chromium Tinggi Dengan Konsentrasi Larutan HCl 15%

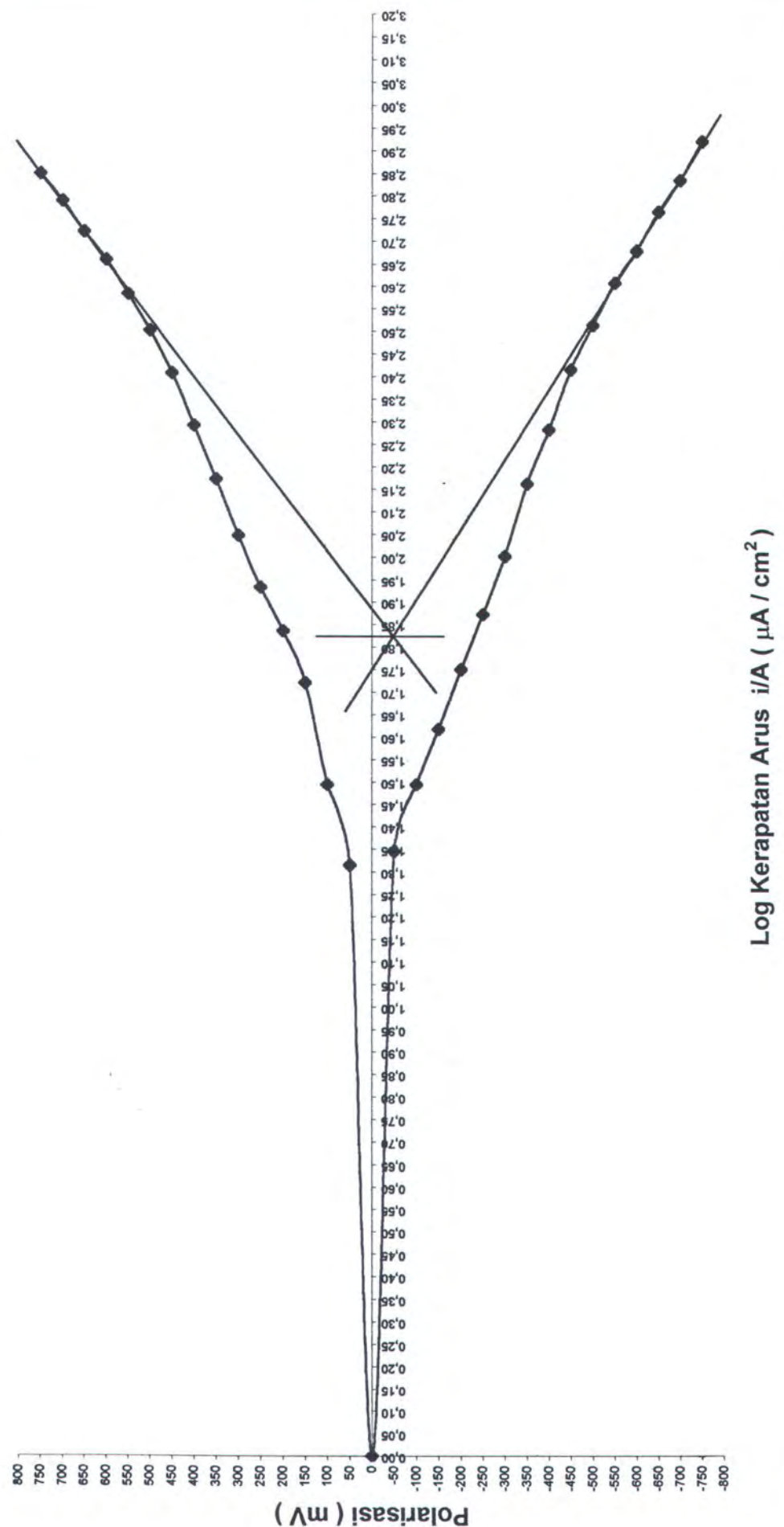


Data Hasil Percobaan

Lampiran 29 Data Percobaan Polarisasi Untuk Pengelasan Dengan Elektroda Kandungan Chromium Tinggi Pada Konsentrasi Larutan HCl 15% Dengan Luasan Spesimen 118,80 cm²

V (mV)	Data Percobaan XXIX		i / A ($\mu\text{A} / \text{cm}^2$)	Log (i / A)
	i (mA)	i (μA)		
-750	98.73	98730.00	831.0606	2.919633
-700	81.02	81024.00	682.0202	2.833797
-650	68.77	68765.00	578.8300	2.762551
-600	56.57	56567.00	476.1532	2.677747
-550	47.99	47990.00	403.9562	2.606334
-500	38.64	38640.00	325.2525	2.512221
-450	30.84	30838.00	259.5791	2.414270
-400	22.74	22740.00	191.4141	2.281974
-350	17.26	17260.00	145.2862	2.162224
-300	11.92	11920.00	100.3367	2.001460
-250	8.84	8840.00	74.4108	1.871636
-200	6.68	6680.00	56.2290	1.749960
-150	4.92	4920.00	41.4141	1.617149
-100	3.71	3710.00	31.2290	1.494557
-50	2.63	2630.00	22.1380	1.345139
0	0.00	0.00	0.00	0.00
50	2.46	2460.00	20.7071	1.316119
100	3.71	3710.00	31.2290	1.494557
150	6.25	6250.00	52.6094	1.721064
200	8.13	8130.00	68.4343	1.835274
250	10.19	10190.00	85.7744	1.933358
300	13.24	13240.00	111.4478	2.047072
350	17.68	17680.00	148.8215	2.172666
400	23.26	23260.00	195.7912	2.291793
450	30.28	30280.00	254.8822	2.406339
500	37.67	37670.00	317.0875	2.501179
550	45.33	45330.00	381.5657	2.581569
600	54.14	54140.00	455.7239	2.658702
650	62.15	62150.00	523.1481	2.718625
700	72.68	72680.00	611.7845	2.786598
750	83.78	83780.00	705.2189	2.848324

Gambar 29 Polarisasi Pada Pengelasan Elektroda Kandungan Chromium Tinggi Dengan Konsentrasi Larutan HCl 15%

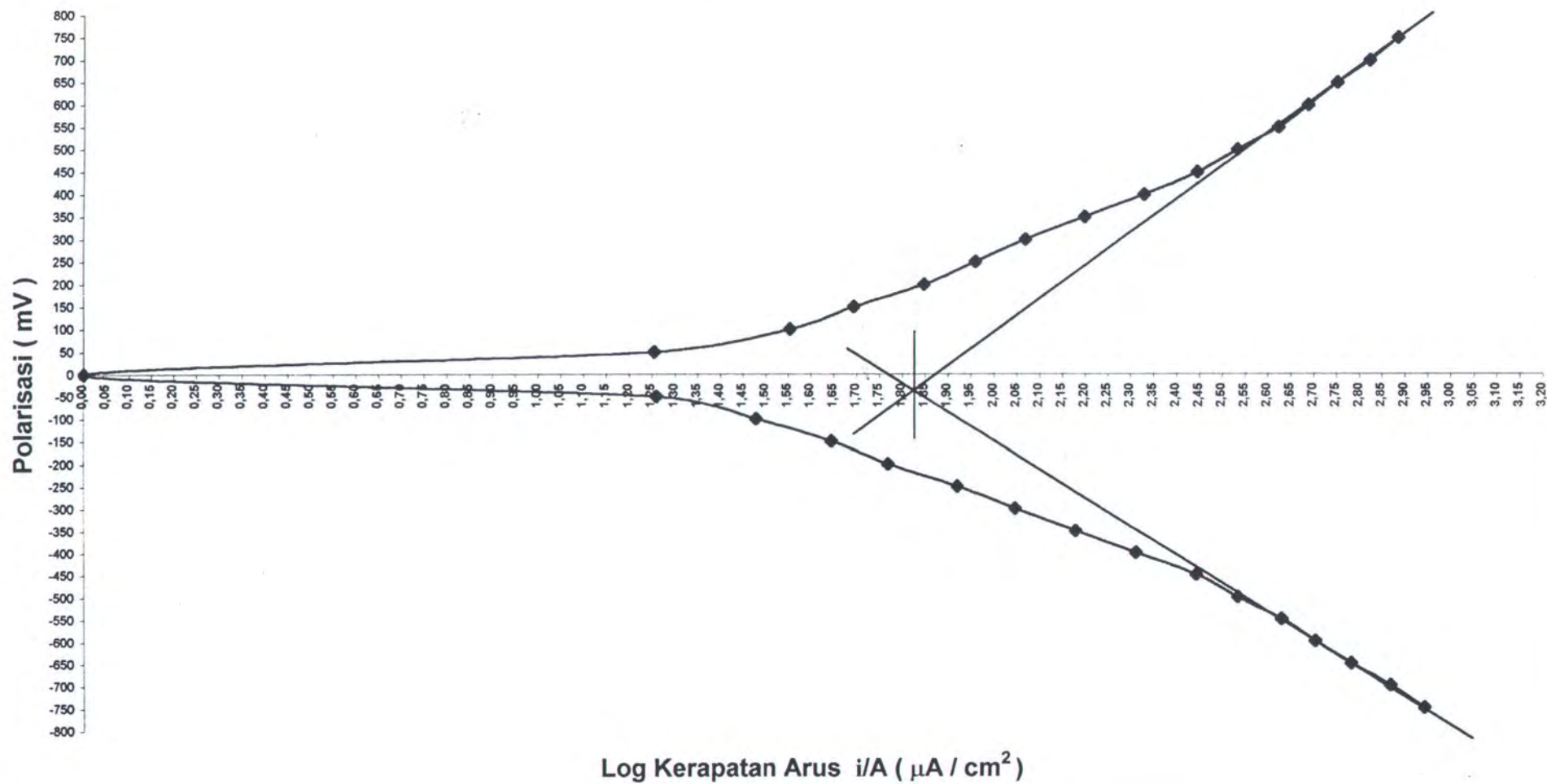


Data Hasil Percobaan

Lampiran 30 Data Percobaan Polarisasi Untuk Pengelasan Dengan Elektroda Kandungan Chromium Tinggi Pada Konsentrasi Larutan HCl 15% Dengan Luasan Spesimen 118,80 cm²

V (mV)	Data Percobaan XXX		i / A ($\mu\text{A} / \text{cm}^2$)	Log (i / A)
	i (mA)	i (μA)		
-750	103.98	103980.00	875.2525	2.942133
-700	87.53	87530.00	736.7845	2.867340
-650	71.67	71670.00	603.2828	2.780521
-600	59.76	59760.00	503.0303	2.701594
-550	50.47	50470.00	424.8316	2.628217
-500	40.53	40530.00	341.1616	2.532960
-450	32.83	32830.00	276.3468	2.441454
-400	24.27	24270.00	204.2929	2.310253
-350	17.89	17890.00	150.5892	2.177794
-300	13.19	13190.00	111.0269	2.045428
-250	9.88	9880.00	83.1650	1.919941
-200	6.97	6970.00	58.6700	1.768416
-150	5.24	5240.00	44.1077	1.644515
-100	3.57	3570.00	30.0505	1.477852
-50	2.16	2160.00	18.1818	1.259637
0	0.00	0.00	0.00	0.00
50	2.14	2140.00	18.0135	1.255597
100	4.25	4250.00	35.7744	1.553572
150	5.86	5860.00	49.3266	1.693081
200	8.35	8350.00	70.2862	1.846870
250	10.81	10810.00	90.9933	1.959009
300	13.91	13910.00	117.0875	2.068511
350	18.76	18760.00	157.9125	2.198416
400	25.32	25320.00	213.1313	2.328647
450	33.02	33020.00	277.9461	2.443961
500	40.39	40390.00	339.9832	2.531457
550	49.75	49750.00	418.7710	2.621977
600	57.64	57640.00	485.1852	2.685908
650	66.94	66940.00	563.4680	2.750869
700	78.75	78750.00	662.8788	2.821434
750	90.87	90870.00	764.8990	2.883604

Gambar 30 Polarisasi Pada Pengelasan Elektroda Kandungan Chromium Tinggi Dengan Konsentrasi Larutan HCl 15%





Standard Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements¹

This standard is issued under the fixed designation G 5; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method describes an experimental procedure for checking experimental technique and instrumentation. If followed, this test method will provide repeatable potentiostatic and potentiodynamic anodic polarization measurements that will reproduce data determined by others at other times and in other laboratories provided all laboratories are testing reference samples from the same lot of Type 430 stainless steel.

1.2 Values stated in SI units are to be regarded as the standard. Inch-pound units given in parentheses are for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Document

2.1 ASTM Standard:

G 3 Practice for Conventions Applicable to Electrochemical Measurements in Corrosion Testing²

3. Significance and Use

3.1 The availability of a standard procedure, standard material, and a standard plot should make it easy for an investigator to check his techniques. This should lead to polarization curves in the literature which can be compared with confidence.

3.2 Samples of a standard ferritic Type 430 stainless steel (UNS S43000) used in obtaining standard reference plot are available for those who wish to check their own test procedure and equipment.³

3.3 Standard potentiostatic and potentiodynamic polarization plots are supplied with the purchase of the reference material. These reference data are based on the results from different laboratories that followed the standard procedure, using that material in 1.0 N H₂SO₄. Maximum and minimum current values are shown at each potential to indicate the acceptable range of values.

3.4 This test method may not be appropriate for polarization testing of all materials or in all environments.

3.5 This test method is intended for use in evaluating the accuracy of a given electrochemical test apparatus, not for use in evaluating materials performance. Therefore, the use of the plots in Figs. 4 and 5 or Appendix X2 is not recommended to evaluate alloys other than Type 430, or lots of Type 430 other than those available through ASTM. The use of the data in this test method in this manner is beyond the scope and intended use of this test method. Users of this test method are advised to evaluate test results relative to the scatter bands corresponding to the particular lot of Type 430 stainless steel that was tested.

4. Apparatus

4.1 The test cell should be constructed to allow the following items to be inserted into the solution chamber: the test electrode, two auxiliary electrodes, a Luggin capillary with salt-bridge connection to the reference electrode, inlet and outlet for an inert gas, and a thermometer. The test cell shall be constructed of materials that will not corrode, deteriorate, or otherwise contaminate the test solution.

NOTE 1—Borosilicate glass and TFE-fluorocarbon have been found suitable.

4.1.1 A suitable cell is shown in Fig. 1 (1).⁴ A 1-L, round-bottom flask has been modified by the addition of various necks to permit the introduction of electrodes, gas inlet and outlet tubes, and a thermometer. The Luggin probe-salt bridge separates the bulk solution from the saturated calomel reference electrode, and the probe tip can be easily adjusted to bring it in close proximity with the working electrode.

4.2 Potentiostat (Note 2):

4.2.1 A potentiostat that will maintain an electrode potential within 1 mV of a preset value over a wide range of applied currents should be used. For the type and size of standard specimen supplied, the potentiostat should have a potential range from -0.6 to 1.6 V and an anodic current output range from 1.0 to 10⁵ μ A.

4.3 Potential-Measuring Instruments (Note 2):

4.3.1 The potential-measuring circuit should have a high input impedance on the order of 10¹¹ to 10¹⁴ Ω to minimize current drawn from the system during measurements. Such circuits are provided with most potentiostats. Instruments should have sufficient sensitivity and accuracy to detect a change of 1.0 mV over a potential range between -0.6 and 1.6 V.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee G-1 on Corrosion of Metals and is the direct responsibility of G01.11 on Electrochemical Measurements in Corrosion Testing.

Current edition approved March 15, 1994. Published May 1994. Originally published as G 5 – 69. Last previous edition G 5 – 87.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.02.

³ These standard samples are available from ASTM Headquarters. Generally, one sample can be repolished and reused for many runs. This procedure is suggested to conserve the available material. Order PCN 12-700050-00.

⁴ The boldface numbers in parentheses refer to the list of references at the end of this test method.

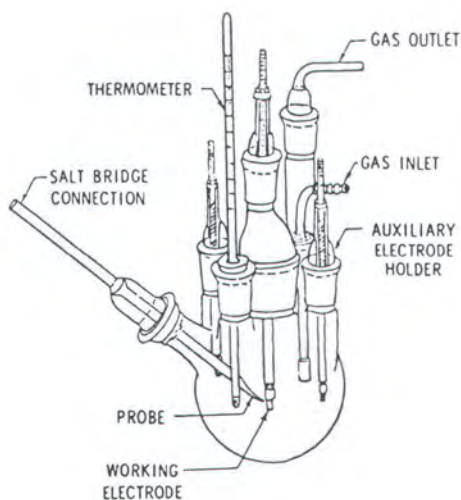


FIG. 1 Schematic Diagram of Polarization Cell (1)

4.4 Current-Measuring Instruments (Note 2):

4.4.1 An instrument that is capable of measuring a current accurately to within 1 % of the absolute value over a current range between 1.0 and $10^5 \mu\text{A}$ for a Type 430 stainless steel (UNS S43000) specimen with a surface area of approximately 5 cm^2 .

4.5 Anodic Polarization Circuit:

4.5.1 A schematic potentiostatic anodic polarization wiring diagram (2) is illustrated in Fig. 2.

4.5.2 A scanning potentiostat is used for potentiodynamic measurements. For such measurements the potentiostat shall be capable of automatically varying the potential at a constant rate between two preset potentials. A record of the potential and current is plotted continuously using such instruments as an X-Y recorder and a logarithmic converter incorporated into the circuit shown in Fig. 2. Some potentiostats have an output of the logarithm of the current as a voltage, which allows direct plotting of the potential log current curve using an X-Y recorder.

NOTE 2—The instrumental requirements are based upon values typical of the instruments in 15 laboratories.

4.6 Electrode Holder (1):

4.6.1 The auxiliary and working electrodes are mounted in the type of holder shown in Fig. 3. A longer holder is required for the working electrode than for the auxiliary electrode. A leak-proof assembly is obtained by the proper compression fit between the electrode and a TFE-fluorocarbon gasket. (Too much pressure may cause shielding of the electrode or breakage of the glass holder, and too little pressure may cause leakage and subsequently crevice corrosion which may affect the test results.)

4.7 Electrodes:

4.7.1 *Working Electrode*, prepared from a 12.7-mm ($\frac{1}{2}$ -in.) length of 9.5-mm ($\frac{3}{8}$ -in.) diameter rod stock. Each electrode is drilled, tapped, and mounted in the manner discussed in 4.6.1.

NOTE 3—If specimen forms are used other than those called for by this test method, for example, flat sheet specimen, care should be taken since it was shown that crevices may be introduced which can lead to erroneous results (see Fig. X1.1).

4.7.1.1 The standard AISI Type 430 stainless steel (UNS

S43000) should be used if one wishes to reproduce a standard reference plot. This material is prepared from a single heat of metal that is mill-annealed for $\frac{1}{2}$ h at 815°C (1500°F) and air cooled. The chemical composition of the standard stainless steel is supplied with the purchase of reference material.

4.7.2 Auxiliary Electrodes:

4.7.2.1 Two platinum auxiliary electrodes are prepared from high-purity rod stock. Each electrode is drilled, tapped, and mounted with a TFE-fluorocarbon gasket in the same manner as the working electrode. A large platinum sheet sealed into a glass holder is also acceptable.

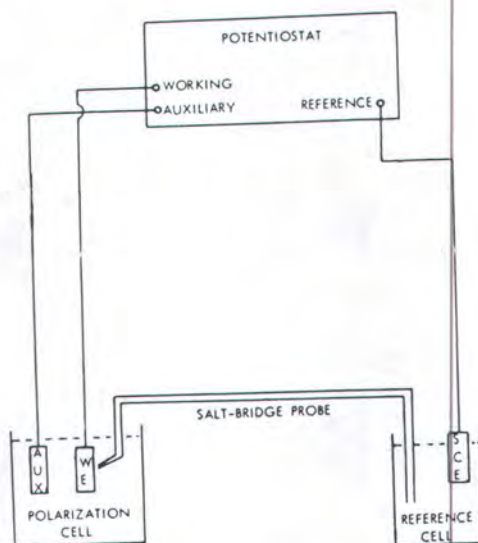


FIG. 2 Schematic Potentiostatic Anodic Polarization Wiring Diagram (2)

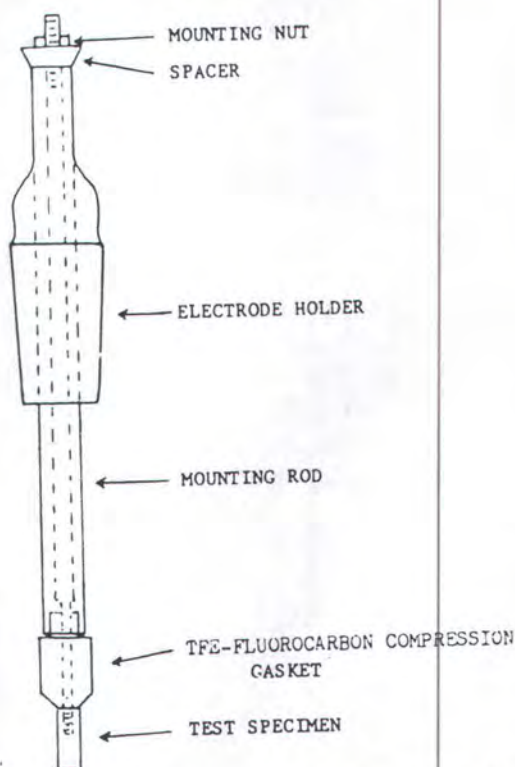


FIG. 3 Specimen Mounted on Electrode Holder

4.7.2.2 A platinized surface may be utilized because of the increased surface area. This may be accomplished by cleaning the surface in hot aqua regia (3 parts concentrated HCl and 1 part concentrated HNO_3), washing, and then drying. Both electrodes are platinized by immersing them in a solution of 3 % platinum chloride and 0.02 % lead acetate and electrolyzing at a current density of 40 to 50 mA/cm^2 for 4 or 5 min (1, 3). The polarity is reversed every minute. Occluded chloride is removed by electrolyzing in a dilute (10 %) sulfuric acid solution for several minutes with a reversal in polarity every minute. Electrodes are rinsed thoroughly and stored in distilled water until ready for use. Since certain ions can poison these electrodes, periodic checks of platinized platinum potentials against a known reference electrode should be made.

4.7.2.3 Alternatively, graphite auxiliary electrodes can be used, but material retained by the graphite may contaminate subsequent experiments. This contamination can be minimized by using high-density graphite or avoided by routinely replacing the graphite electrode.

4.7.3 Reference Electrode (4):

4.7.3.1 A saturated calomel electrode with a controlled rate of leakage (about 3 $\mu\text{L}/\text{h}$) is recommended. This type of electrode is durable, reliable, and commercially available. Precautions shall be taken to ensure that it is maintained in the proper condition. The potential of the calomel electrode should be checked at periodic intervals to ensure the accuracy of the electrode. For other alloy-electrolyte combinations a different reference electrode may be preferred in order to avoid contamination of the reference electrode or the electrolyte.

4.7.3.2 Alternatively, a saturated calomel electrode utilizing a semi-permeable membrane or porous plug tip may be used. These may require special care.

5. Experimental Procedure

5.1 Prepare 1 L of 1.0 N H_2SO_4 from A.C.S. reagent grade acid and distilled water, for example, by using 27.8 mL of 98 % $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{L}$ of solution. Transfer 900 mL of solution to the clean polarization cell.

5.2 Place the platinized auxiliary electrodes, salt-bridge probe, and other components in the test cell and temporarily close the center opening with a glass stopper. Fill the salt bridge with test solution.

NOTE 4—When using a controlled leakage salt bridge, the levels of the solution in the reference and polarization cells should be the same to avoid siphoning. If this is impossible, a closed solution-wet (not greased) stopcock can be used in the salt bridge to eliminate siphoning, or a semi-permeable membrane or porous plug tip may be used on the salt bridge.

5.3 Bring the temperature of the solution to $30 \pm 1^\circ\text{C}$ by immersing the test cell in a controlled-temperature water bath or by other convenient means.

5.4 Reduce oxygen levels in solution prior to immersion of the test specimen. This may be accomplished by bubbling an oxygen-free gas such as hydrogen, argon, or nitrogen at a rate of 150 cm^3/min for a minimum of $\frac{1}{2}$ h.

5.5 Prepare the working electrode surface within 1 h of the experiment. Wet grind with 240-grit SiC paper, wet polish with 600-grit SiC paper until previous coarse scratches are removed, rinse, and dry. (Drilled and tapped specimens

can be threaded onto an electrode holder rod and secured in a lathe or electric drill for this operation.)

5.6 Determine the surface area by measuring all dimensions to the nearest 0.01 mm, subtracting the area under the gasket (usually 0.20 to 0.25 cm^2).

5.7 Mount the specimen on the electrode holder as described in 4.6.1. Tighten the assembly by holding the upper end of the mounting rod in a vise or clamp while tightening the mounting nut until the gasket is properly compressed.

5.8 Degrease the specimen just prior to immersion and then rinse in distilled water.

5.9 Transfer the specimen to the test cell and adjust the salt-bridge probe tip so it is about 2 mm or 2 times the tip diameter, whichever is larger from the specimen electrode.

5.10 Record the open-circuit specimen potential, that is, the corrosion potential, after 55 min immersion. If platinum counter electrodes and hydrogen gas are used, record the platinum potential 50 min after immersion of the specimen.

5.11 Potential Scan:

5.11.1 Start the potential scan or step 1 h after specimen immersion, beginning at the corrosion potential (E_{corr}) for potentiodynamic measurements and the nearest 50-mV increment above E_{corr} for the potentiostatic measurements. Proceed through +1.60 V versus saturated calomel electrode (SCE) (active to noble).

5.11.2 In the potentiostatic method, use a potentiostatic potential step rate of 50 mV every 5 min, recording the current at the end of each 5-min period at potential. These steps are repeated until a potential of +1.6 V SCE is reached.

5.11.3 In the potentiodynamic method, use a potentiodynamic potential sweep rate of 0.6 V/h ($\pm 5\%$) recording the current continuously with change in potential from the corrosion potential to +1.6 V SCE.

5.12 Plot anodic polarization data on semilogarithmic paper in accordance with Practice G 3, (potential-ordinate, current density-abscissa). If a potentiostat with a logarithmic converter is used, this plot can be produced directly during the measurement.

6. Standard Reference Plots

6.1 Standard polarization plots prepared from data obtained by following the standard procedure discussed in this test method are supplied with the purchase of reference material. Typical data are shown in Figs. 4 and 5 (5). The plots show a range of acceptable current density values at each potential. The average corrosion potential is -0.52 V, and the average platinized platinum potential is -0.26 V.

NOTE 5—The plots in Figs. 4 and 5 correspond to a lot of Type 430 stainless steel that is no longer available from ASTM (after July 1992). Figs. 4 and 5 are presented primarily for the discussion of precision and bias in Sections 6, 7, and Appendix X1. The scatter bands presented in Appendix X2 were developed from a round robin testing program on the lot of Type 430 stainless steel that is currently available from ASTM.

6.2 Typical deviations from the standard potentiostatic plot are shown and discussed in Appendix X1. Reference to this discussion may be helpful in determining the reasons for differences between an experimental curve and the standard plots.

6.3 The potentiodynamic standard curve shows good agreement with the potentiostatic standard curve determined

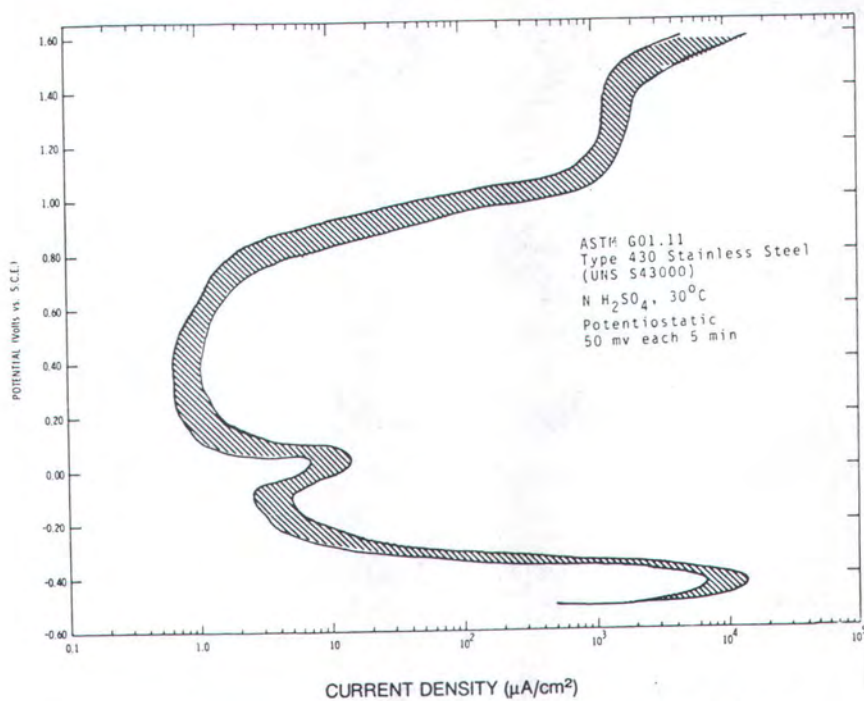


FIG. 4 Typical Standard Potentiostatic Anodic Polarization Plot

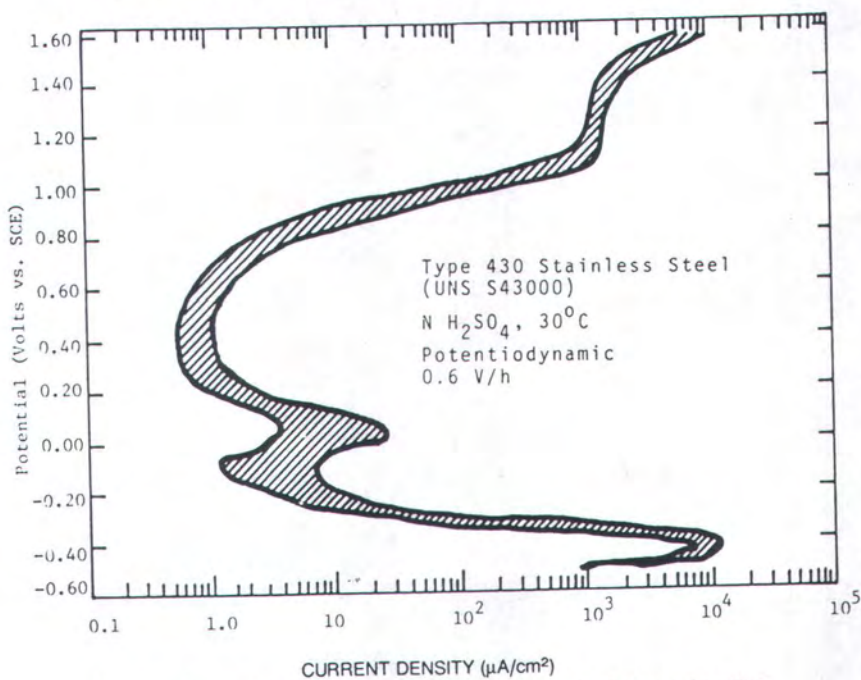


FIG. 5 Typical Standard Potentiodynamic Anodic Polarization Plot

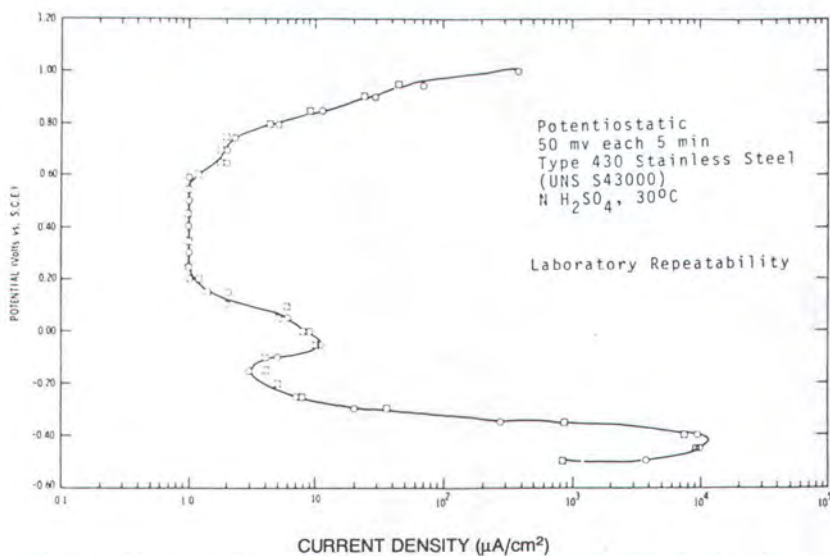


FIG. 6 Laboratory Repeatability of Potentiostatic Anodic Polarization Curve

at an equivalent overall polarization rate.

6.4 Differences in the size and placement of the scatter bands presented in Figs. 4 and 5 versus those in Appendix X2 are attributed to minor differences in the two heats of Type 430 stainless steel that were evaluated in separate round robins.

7. Precision and Bias

7.1 The repeatability of this test method is being developed. However, the repeatability on a previous inter-

laboratory test in which one material was run twice by one laboratory is shown in Fig. 6.

7.2 The reproducibility of this test method is being developed by interlaboratory testing.

7.3 There is no bias in this test method because the potentiodynamic curve is defined only in terms of this test method.

8. Keywords

8.1 anodic polarization; electrochemical testing; pitting; potentiodynamic; potentiostatic; sulfuric acid; Type 430 stainless steel

APPENDIXES

(Nonmandatory Information)

X1. DEVIATIONS FROM STANDARD POLARIZATION PLOTS

X1.1 High Passive Current Densities (Crevice Effect)

X1.1.1 Examples of passive current densities which are greater than those for a standard potentiostatic plot are shown in Fig. X1.1. This effect is attributable to a crevice between the specimen and mounting material (6). The crevice may be the result of the mounting technique or the material used for mounting.

X1.1.2 The potential drop along the narrow path of the electrolyte within the crevice between the specimen and the mounting material prevents this area from passivating. Although the face of the specimen passivates, the high current density associated with the active crevice contributes to an increase in the measured current density. Specimen electrodes for polarization measurements must be mounted without crevice sites to avoid such erroneous passive current densities.

X1.2 Low Passive Current Densities (Instrumental Effect)

X1.2.1 The low passive current densities shown in Fig.

X1.2 are undoubtedly the result of instrumental problems. This effect can be eliminated by calibrating the current over the entire range of interest before conducting an experiment.

X1.3 Cathodic Currents During Anodic Polarization (Oxygen Effect)

X1.3.1 The "negative loop" at potentials between -0.350 V and -0.050 V, shown by dashed lines in Fig. X1.3, occurs when the total cathodic current exceeds the total anodic current. Such results are characteristic of oxygen being present in the solution (7). This effect can be anticipated if the recorded platinum potential is considerably more noble than -0.26 V. The gas purge should remove oxygen from the system, but there may be an air leak or the purge gas may be contaminated with oxygen. It is necessary to take extreme care in the design of glassware equipment and to ensure a high order of purity in the gas that is used to avoid oxygen contamination.

COMMODITY : STS HR-COIL

SPEC. & TYPE : ASTM A240-316L

SURFACE FINISH : NO. 1 : NO. 1

ORDER NO :

CUSTOMER : DAE SUNG ENGINEERING CO., LTD.

SUPPLIER : DAE SUNG ENGINEERING CO., LTD.

CERTIFICATE NO : 990801-TN2-0

DATE OF ISSUE : AUG. 01. 199

제품 치수 DIMENSIONS	수량 QUANTITY	중량 WEIGHT (KG)	항 CHARGE NO	제품 번호 PRODUCT NO	인장 시험 TENSILE TEST				경도 시험 HARDNESS TEST HRC	충격 시험 IMPACT TEST (V) NOTCH		화학 성분 CHEMICAL COMPOSITION(%)										
					YS	TS	EL	ENERGY		SF	C	S	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N			
8.0X1524XC	1	8.816	TS3785	AHLU3033	282	585	52	84				22	62	67	24	31	70	12	17	228	16	
*** SUB TOTAL (020) ***				2	17.732	(KG)																
*** GRADE TOTAL ***				2	17.732	(KG)																
*** GRAND TOTAL ***				2	17.732	(KG)																
--- LAST ITEM ---																						

ORIGINAL

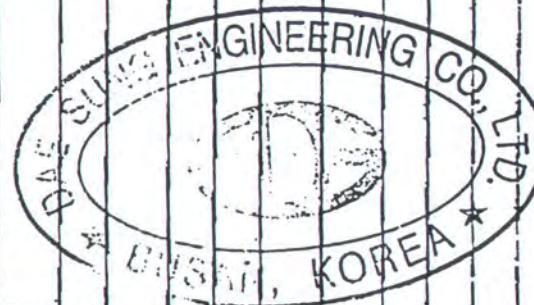
COPY

원본제조필

DAE SUNG ENGINEERING CO., LTD.
BUSAN, KOREA

ORIGINAL
COPY

원본대조필 (請)



POSITION : T: TOP GL (GAUGE LENGTH) RECTANGULAR A: 50mm B: 80mm C: 100mm IMPACT TEST SUB SIZE 1: 2.5X10mm 2: 3.3X10mm 3: 5.0X10mm 4: 7.5X10mm
 NO : M: MIDDLE D: 200mm E: 5.65 S
 T : B: BOTTOM ROUND P: 50mm G: 70mm H: 5.65 S
 E : DIRECTION L: LONGITUDINAL DIVISION L: LADLE ANALYSIS C: CHECK ANALYSIS SP: SHEAR FRACTURE
 C: CROSSWISE

REMARKS: ---

SURVEYOR TO: SIGNATURE	SURVEYOR TO: SIGNATURE	WE CERTIFY THAT THE ABOVE MATERIAL HAS BEEN MADE IN ACCORDANCE WITH THE ORDER AND SPECIFICATION.	SIGNATURE <i>Steyat</i> CHIEF OF STAINLESS STEEL QUALITY ASS.
---------------------------	---------------------------	--	---